

Análise da metodologia do MME/ANEEL para o cálculo dos montantes de energia assegurada e garantia física de energia de PCHs: Estudo de caso de uma PCH

Marina Luiza Bortoli da Silva



Marina Luiza Bortoli da Silva

Análise da metodologia do MME/ANEEL para o cálculo dos montantes de energia assegurada e garantia física de energia de PCHs: Estudo de caso de uma PCH

Trabalho apresentado à
Universidade Federal de Santa
Catarina para a Conclusão do Curso
de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental.
Orientador: Edivan Cherubini
Co-Orientador: Rodrigo Kern

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bortoli da Silva, Marina Luiza
Análise da metodologia do MME/ANEEL para o cálculo dos
montantes de energia assegurada e garantia física de
energia de PCHs: Estudo de caso de uma PCH / Marina Luiza
Bortoli da Silva ; orientador, Edivan Cherubini ;
coorientador, Rodrigo Kern. - Florianópolis, SC, 2016.
152 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Esse trabalho
analisou o cálculo de energia assegurada e garantia física
de uma PCH, através de uma simulação aplicada a bacia do
rio Pesqueiro, para a PCH Lambari, por consulta do seu
projeto básico, ainda não implantada, utilizando os dados
de vazão mensais e diárias, mostrando que, uma vez que uma
usina hidrelétrica desse porte não possui reservatório
capaz de regularizar vazões de escala mensal. I.
Cherubini, Edivan. II. Kern, Rodrigo. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Marina Luiza Bortoli da Silva

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II.

Florianópolis, 2016.



Edivan Cherubini
Orientador

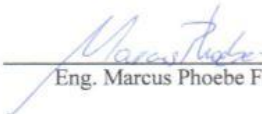


Rodrigo Kern
Co-Orientador

Banca Examinadora:



Prof. Henrique Rogério Antunes de Souza Júnior, Msc.
Universidade do Estado de Santa Catarina



Eng. Marcus Phoebe Farias Hinnig

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre sonharam comigo, por toda a minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais DeJane e Mauri Henrique, pelo amor e incentivo durante toda a graduação. Sempre me apoiaram em tudo que precisei para as minhas conquistas. Sem dúvida alguma, sem a presença deles esta conquista não seria possível, eles que não mediram esforços para me proporcionar as condições necessárias para a realização deste sonho.

Agradeço a toda minha família, principalmente meus avós, Mauri e Noemia, que sempre me proporcionaram a mais linda experiência de amor, com tanto carinho e afeto, tornando minha trajetória mais suave e alegre.

Agradeço ao meu orientador Edivan Cherubini, pelo suporte acadêmico necessário para que este trabalho fosse realizado, com muita dedicação.

Agradeço ao meu co-orientador, Rodrigo Kern, pela paciência e generosidade, um profissional incrível que soube transmitir seu conhecimento dia após dia, para que este trabalho pudesse ser desenvolvido. Obrigada por confiar no meu trabalho, por tudo que me ensinou e por estar sempre disponível para tirar minhas dúvidas.

Agradeço a empresa Estelar Engenheiros Associados, pelo material fornecido para que a pesquisa pudesse ser desenvolvida da melhor forma possível.

Agradeço a todos os amigos que há tanto me acompanham, principalmente a minha turma, 2010.2 de Engenharia Sanitária e Ambiental, e a todos os amigos que fiz ao longo do curso, por tornar esses anos de graduação ainda mais inesquecíveis.

RESUMO

A crescente dependência do desenvolvimento à geração de energia faz com que alternativas, como Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), sejam cada vez mais implantadas no Brasil. Com isso, também há a necessidade de desenvolver uma avaliação adequada quanto a sua real capacidade de geração de energia, para que não ocorram débitos de cotas energéticas aos investidores. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estipula que os cálculos de energia assegurada e de garantia física de PCH deve ser feito através dos dados de vazões médias mensais. Esse trabalho analisou o cálculo de energia assegurada e garantia física de uma PCH, através de uma simulação aplicada a bacia do rio Pesqueiro, para a PCH Lambari, por consulta do seu projeto básico, ainda não implantada, utilizando os dados de vazão mensais e diárias, mostrando que, uma vez que uma usina hidrelétrica desse porte não possui reservatório capaz de regularizar vazões de escala mensal, deveria ser utilizada série de vazões na escala diária, censurados no engolimento máximo da turbina.

Palavras-chave: Pequena Central Hidrelétrica, Análise de geração energética, Cálculo de energia assegurada, Série de vazões médias mensais e diárias.

ABSTRACT

The increasing dependence on power generations development makes the deployed of alternatives such as Small Hydroplants (SHP) increase in Brazil. There is also the need to develop a proper assessment to its actual power generation capacity, so there are no debts of energy shares to investors. The Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) stipulates the guaranteed energy calculations and physical guarantee of SHP should be done through the monthly average flow data. This study analyzed the assured energy calculation and physical guarantee of SHP, through a simulation applied to the basin of Pesqueiro river, SHP Lambari, by consulting its basic design, not yet deployed, using the monthly and daily flow data to show that, an hydroelectric power plant of this size that does not have a reservoir able to regularize monthly scale flow, requiring flow series on the daily scale, censorship on maximum turbine project flow.

Keywords: Small Hydroplants, Analysis of energy generation, Assured energy calculation, Series of monthly and daily average flow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Afluências turbináveis de 1973 da Estação Santa Clara no Rio Jordão (Sub-Bacia 65) - KERN, 2010.....	39
Figura 2. Determinação do fator de forma para duas bacias de mesma área.....	44
Figura 3. Bacia hidrográfica do rio Burro Branco e localização PCH Lambari.....	61
Figura 4. Localização das estações pluviométricas.....	64
Figura 5. Número de Dias de Chuva - E. P. Jardinópolis.....	68
Figura 6. Precipitação Máxima Total Diária de Cada Mês - E. P. Jardinópolis.....	69
Figura 7. Precipitação Máxima Total Diária de Cada Ano - E. P. Jardinópolis.....	69
Figura 8. Análise da Curva de Descarga - E. F. Abelardo Luz.....	71
Figura 9. Análise da Curva de Descarga - E. F. Ponte do Sargento.....	72
Figura 10. Análise Curva de Descarga - E. F. Jardinópolis.....	73
Figura 11. Análise Curvas de Descargas - E. F. Passo Pio X (Período até 1995).....	74
Figura 12. Análise Curvas de Descargas - E. F. Passo Pio X (Período após 1995).....	75
Figura 13 Análise Curva de Descarga - E. F. Saudades (1954-1960)...	76
Figura 14. Análise Curva de Descarga - E.F. Saudades (1970-2001)...	77
Figura 15. Análise Curva de Descarga - E. F. Saudades (2000-2016)..	78
Figura 16. Curva de permanência de vazão média mensal - PCH Lambari.....	86
Figura 17. Curvas de frequência de cheias - PCH Lambari.....	87
Figura 18 Estação Climatológica Chapecó - Insolação (horas).....	103
Figura 19 Estação Climatológica Xanxerê - Insolação (horas).....	104
Figura 20 Estação Climatológica Chapecó - Umidade Relativa (%)..	105
Figura 21 Estação Climatológica Xanxerê - Umidade Relativa (%)...	106
Figura 22 Estação Climatológica Chapecó - Pressão Atmosférica.....	109
Figura 23 Estação Climatológica Xanxerê - Pressão Atmosférica.....	109
Figura 24 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Marata.....	111
Figura 25 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Jardinópolis.....	111
Figura 26 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Porto Fae Novo.....	112

Figura 27 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Campo Erê	112
Figura 28 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Modelo	113
Figura 29 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Ponte do Sargento.....	113
Figura 30 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Saudade	114
Figura 31 Precipitações Totais Mensais - E. P. Marata.....	115
Figura 32 Precipitações Totais Mensais - E. P. Jardinópolis.....	115
Figura 33 Precipitações Totais Mensais - E. P. Porto Fae Novo	116
Figura 34 Precipitações Totais Mensais - E. P. Campo Erê	116
Figura 35 Precipitações Totais Mensais - E. P. Modelo.....	117
Figura 36 Precipitações Totais Mensais - E. P. Ponte do Sargento.....	117
Figura 37 Precipitações Totais Mensais - E. P. Saudades	118
Figura 38 Estação Pluviométrica Marata - Precipitações Total Diária de Cada Ano.....	119
Figura 39 Estação Pluviométrica Marata - Precipitação Total Diária de Cada Mês.....	119
Figura 40 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Marata.....	120
Figura 41 Curva PDF - E. P. Marata	120
Figura 42 Estação Pluviométrica Jardinópolis - Precipitações Total Diária de Cada Ano	121
Figura 43 Estação Pluviométrica Jardinópolis - Precipitação Total Diária de Cada Mês	121
Figura 44 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Jardinópolis.....	122
Figura 45 Curva PDF - E. P. Jardinópolis	122
Figura 46 Estação Pluviométrica Porto Fae Novo - Precipitações Total Diária de Cada Ano	123
Figura 47 Estação Pluviométrica Porto Fae - Precipitação Total Diária de Cada Mês.....	123
Figura 48 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Porto Fae Novo.....	124
Figura 49 Curva PDF - E. P. Porto Fae Novo	124
Figura 50 Estação Pluviométrica Campo Erê - Precipitações Total Diária de Cada Ano	125
Figura 51 Estação Pluviométrica Campo Erê - Precipitação Total Diária de Cada Mês	125

Figura 52 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Campo Erê.....	126
Figura 53 Curva PDF - E. P. Campo Erê	126
Figura 54 Estação Pluviométrica Modelo - Precipitações Total Diária de Cada Ano	127
Figura 55 Estação Pluviométrica Modelo - Precipitação Total Diária de Cada Mês	127
Figura 56 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Modelo	128
Figura 57 Curva PDF - E. P. Modelo	128
Figura 58 Estação Pluviométrica Ponte do Sargento - Precipitações Total Diária de Cada Ano.....	129
Figura 59 Estação Pluviométrica Ponte do Sargento - Precipitação Total Diária de Cada Mês.....	129
Figura 60 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Ponte do Sargento.....	130
Figura 61 Curva PDF - E. P. Ponte do Sargento	130
Figura 62 Estação Pluviométrica Saudades - Precipitações Total Diária de Cada Ano	131
Figura 63 Estação Pluviométrica Saudades - Precipitação Total Diária de Cada Mês	131
Figura 64 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Ponte do Sargento.....	132
Figura 65 Curva PDF - E. P. Ponte do Sargento	132
Figura 66 Estação Pluviométrica Marata – Número de Dias de Chuva	133
Figura 67 Estação Pluviométrica Jardinópolis – Número de Dias de Chuva	133
Figura 68 Estação Pluviométrica Porto Fae Novo – Número de Dias de Chuva	134
Figura 69 Estação Pluviométrica Campo Erê – Número de Dias de Chuva	134
Figura 70 Estação Pluviométrica Modelo – Número de Dias de Chuva	135
Figura 71 Estação Pluviométrica Ponte do Sargento – Número de Dias de Chuva	135
Figura 72 Estação Pluviométrica Saudades – Número de Dias de Chuva	136
Figura 73 Correlação - Ponte do Sargento vs. Jardinópolis	137
Figura 74 Correlação - Abelardo Luz vs. Jardinópolis	137
Figura 75 Correlação - Abelardo Luz vs. Jardinópolis	138

Figura 76 Correlação - Saudades vs. Jardinópolis.....	138
Figura 77 Ajuste dos Dados das Distribuições aos Valores de Q7,10 Histórico.....	152

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Estações Climatológicas.....	62
Quadro 2. Características Climatológicas	62
Quadro 3. Estações pluviométricas	64
Quadro 4. Precipitação Total Mensal - E. P. Jardinópolis	66
Quadro 5. Estações Fluviométricas.....	70
Quadro 6. Vazões Médias Mensais - E. F. Jardinópolis.....	80
Quadro 7. Vazões Médias Mensais PCH Lambari.....	83
Quadro 8. Vazões mínimas	87
Quadro 9. Apresentação dos resultados dos cálculos energéticos com as diferentes séries de vazão para duas turbinas tipo Francis	90
Quadro 10. Comparação dos cálculos energéticos com duas turbinas tipo Francis.....	92
Quadro 11. Apresentação dos resultados dos cálculos energéticos com as diferentes séries de vazão para duas turbinas tipo Kaplan	93
Quadro 12. Comparação dos cálculos energéticos com duas turbinas tipo Kaplan.....	95
Quadro 13. Diferença de geração de energia entre Q mensal do Projeto Básico e Q diária atualizada.....	95
Quadro 14 Estação Climatológica INMET Chapecó - Insolação.....	103
Quadro 15 Estação Climatológica Chapecó - Umidade Relativa (%).	104
Quadro 16 Estação Climatológica Xanxerê - Umidade Relativa (%).	105
Quadro 17 Estação Climatológica INMET Chapecó e Xanxerê – Umidade Relativa (%)	106
Quadro 18 Estação Climatológica Chapecó - Evaporação.....	106
Quadro 19 Estação Climatológica Chapecó - Evapotranspiração.....	107
Quadro 20 Estação Climatológica Xanxerê - Evaporação	107
Quadro 21 Estação Climatológica Xanxerê - Evapotranspiração	107
Quadro 22 Estação Climatológica INMET Chapecó - Evaporação	108
Quadro 23 Estação Climatológica INMET Chapecó - Pressão Atmosférica.....	110
Quadro 24 Análise de Consistência - Vetor Regional C	114
Quadro 25 Análise de Consistência - Vetor Regional L	114
Quadro 26 Vazões Médias Mensais - E. F. Passo Pio X.....	139
Quadro 27 Vazões Médias Mensais - E. F. Ponte do Sargento.....	142
Quadro 28 Vazões Médias Mensais - E. F. Abelardo Luz	145
Quadro 29 Vazões Médias Mensais - E. F. Saudades	148

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	24
2. JUSTIFICATIVA	28
3. OBJETIVOS.....	30
3.1 OBJETIVO GERAL	30
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	32
4.1 DEFINIÇÃO DE PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA	32
4.2 HISTÓRICO DAS PCHS NO BRASIL	33
4.3 ASPECTOS LEGAIS E REGULAMENTARES SOBRE CÁLCULOS DA ENERGIA.....	33
4.3.1 <i>Cálculo da Energia Assegurada</i>	34
4.3.2 <i>Cálculo da Garantia Física</i>	36
4.4 PROBLEMÁTICA - SÉRIE DE VAZÕES MENS AIS E DIÁRIAS NOS MODELOS ENERGÉTICOS DE PCHS	38
4.5 DEPLECIONAMENTO NA ESCALA DIÁRIA.....	39
5. METODOLOGIA.....	42
5.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA.....	42
5.1.1 <i>Fisiografia</i>	42
5.1.1.1 Coeficiente de compacidade (Kc).....	42
5.1.1.2 Fator de forma (Kf).....	43
5.1.1.3 Declividade média da bacia (S)	44
5.1.1.4 Tempo de concentração (Tc)	45
5.1.2 <i>Climatologia</i>	45
5.1.3 <i>Pluviometria</i>	45
5.1.3.1 Método Dupla Massa	46
5.1.3.2 Método do Vetor Regional	46
5.1.3.3 Método dos Momentos	46
5.1.3.4 Curva Precipitação VS Duração VS Frequência (PDF).....	47
5.1.4 <i>Fluviometria</i>	49
5.1.4.1 Curva-chave	50
5.1.4.2 Séries de vazões médias mensais	53
5.1.4.3 Curvas de permanência	54
5.1.4.4 Série de Vazões Mínimas	55
5.1.4.5 Série de Vazões Máximas	56
5.2 CÁLCULOS ENERGÉTICOS.....	57
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60

6.1	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA	60
6.1.1	<i>Fisiografia da bacia.....</i>	60
6.1.2	<i>Climatologia.....</i>	62
6.1.3	<i>Pluviometria.....</i>	63
6.1.3.1	Análise de Consistência	65
6.1.3.2	Precipitações Totais Mensais e Anuais.....	65
6.1.3.3	Número de Dias de Chuva.....	68
6.1.3.4	Precipitações Máximas.....	68
6.1.4	<i>Fluviometria.....</i>	70
6.1.4.1	Análise de Consistência	70
6.1.4.2	Vazões Médias Mensais	78
6.1.4.3	Curva de Permanência.....	86
6.1.4.4	Vazões Máximas.....	86
6.1.4.5	Vazões Mínimas	87
6.2	CÁLCULOS ENERGÉTICOS	88
6.2.1	<i>Apresentação da PCH Lambari.....</i>	88
6.2.2	<i>Descrição dos Cálculos Energéticos.....</i>	89
7.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
9.	APÊNDICE	103
9.1	DADOS CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA	103
9.2	DADOS CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	111
9.2.1	<i>Análise de Consistência</i>	111
9.2.2	<i>Precipitações Totais.....</i>	115
9.2.3	<i>Precipitações Máximas</i>	119
9.2.4	<i>Número de Dias de Chuva.....</i>	133
9.3	DADOS CARACTERIZAÇÃO FLUVIOMÉTRICOS	137
9.3.1	<i>Análise de Consistência</i>	137
9.3.2	<i>Vazões Médias Mensais</i>	139
9.3.3	<i>Vazões Mínimas.....</i>	152

1. INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural mais abundante na Terra e recobre a superfície do planeta sob a forma de oceanos, calotas polares, rios e lagos. Também é uma das fontes na produção de energia que menos contribui para o aquecimento global, um dos principais problemas ambientais da atualidade.

Os recursos hídricos, em especial os rios, são uma excelente fonte para aproveitamento hidrelétrico, em que a energia potencial (diferença entre o nível normal de operação do reservatório e nível normal no canal de fuga da casa de força) é transformada em energia cinética, quando a água passa pelo circuito de geração, onde no conjunto turbina/gerador é transformada em energia elétrica. Esses aproveitamentos são considerados fontes de energia renováveis (ANEEL, 2008).

Ainda no reinado de D. Pedro II, o Brasil construiu a primeira hidrelétrica, no município de Diamantina, utilizando as águas do Ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha, com 0,5 MW (megawatt) de potência e linha de transmissão de dois quilômetros (ANEEL, 2008).

Hoje a matriz energética brasileira é bastante diversificada, e a abundância de rios que podem ser explorados devido às suas características naturais faz com que a maior parcela do potencial energético provenha de fonte hídrica.

Os dados fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), para a situação energética até 2016 demonstram essa situação. Os dados mais recentes da ANEEL, afirmam que o Brasil possui no total 4.512 empreendimentos de geração de energia em operação no país, totalizando 142.989,8 MW de potência instalada. Para os próximos anos é esperada uma adição de 27.482,5 MW na capacidade de geração (ANEEL, 2016). Os dados da Resenha Energética de 2015, produzida pelo Ministério de Minas e Energia (MME), registraram uma capacidade instalada na geração de energia por pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) no país de 4.790 MW das 487 usinas instaladas (ANEEL, 2016).

O uso de energia hidrelétrica tem sido a fonte dominante da matriz nacional, chegando a representar mais de 80% da matriz energética. A alta participação dessa fonte na matriz nacional se deve as características fisiográficas do Brasil (ANEEL, 2008).

As PCHs tiveram um grande crescimento na primeira década do século XXI, devido a crise econômica do Brasil provida das décadas de 80 e 90, o qual não dispunha de recursos para investir em empreendimentos de grande porte como usinas hidrelétricas (UHEs). Com isso, o governo viu como alternativa abrir o mercado para

investidores privados, através da Resolução da ANEEL 169/2001. Esses incentivos foram motivados, entre outras razões, pelo apagão de 2001, que gerou a necessidade de aumentar a segurança do abastecimento nacional (BRASIL, 2004).

Diante desse cenário, a ANEEL, por meio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), implantou políticas para o desenvolvimento de investimento privado na área de geração de energia hidrelétrica para PCHs.

Cabe ressaltar que, estas políticas tiveram como base o fato de que as PCHs possuem menor tempo de elaboração dos projetos e menores custos totais quando comparadas as Usinas Hidrelétricas (UHE), além de causarem menores impactos sócio-ambientais (KERN, 2010). Logo, todo processo, desde do início na fase de inventário até a operação da usina seria mais rápido e deveria atender o crescimento da demanda no curto prazo, enquanto o governo teria tempo para estudar as políticas a longo prazo.

A Resolução da ANEEL n° 673, de agosto de 2015, considera como PCHs, usinas com aproveitamentos hidrelétricos de 3 a 30 MW de potência instalada, com reservatórios de até 13 km² no nível máximo normal de operação.

Contudo, com o crescimento das PCHs na matriz energética brasileira nos últimos 15 anos, há a necessidade de analisar a avaliação de sua energia assegurada, a fim de não impactar na garantia de não atendimento da demanda nacional, estipulada pela ANEEL em um risco de 5%.

Dessa forma, esse trabalho busca analisar o impacto na determinação dos montantes de energia assegurada e na garantia física de PCHs com a utilização de vazões médias diárias, ao invés de vazões médias mensais, como proposto pela ANEEL/MME, utilizando como estudo de caso a PCH Lambari. Esta PCH está localizada na sub-bacia 73 (código da Agência Nacional de Águas - ANA), rio Pesqueiro, em Santa Catarina.

Para determinação da série hidrológica, que serve como base para alimentação dos modelos energéticos, foram utilizados os dados de estações disponibilizadas pela ANA, sendo elas: Abelardo Luz, Jardinópolis, Passo Pio X, Passo Quilombo, Ponte do Sargento e Saudades. As estações foram escolhidas devido à sua localização em relação à PCH em estudo e por possuírem características fisiográficas similares.

Este trabalho contempla uma breve contextualização sobre as PCHs e seu histórico no Brasil, apresentando as legislações vigentes

referentes às suas regulamentações, e as determinações da ANEEL/MME quanto aos cálculos de montantes de energia assegurada e garantia física, que fazem parte da problemática analisada, sobre o uso de série de vazões mensais nos modelos energéticos de PCHs, ao invés de vazões médias diárias, como aqui proposto, e o efeito do deplecionamento na escala diária.

2. JUSTIFICATIVA

Tendo em vista a importância de garantir a geração de energia elétrica, para atendimento da garantia física determinada pela ANEEL/MME, em uma PCH, em que a maioria não possui um reservatório que permita a regularização mensal de água para garantir que a energia gerada pela vazão média mensal seja sempre alcançada, esse trabalho finda demonstrar através de um exemplo prático, com a PCH Lambari, que há uma diferença significativa quanto ao resultado final de energia gerada quando os cálculos são efetuados em uma escala diária, e que essa diferença pode causar prejuízos aos investidores e a garantia do sistema de atendimento a demanda energética, dado o aumento das PCHs na matriz brasileira.

Um parâmetro importante na avaliação energética de uma usina hidrelétrica é o cálculo da energia garantida, que é o montante de energia que a usina pode suprir ao sistema elétrico interligado com dado nível de confiabilidade. O método de cálculo da energia assegurada sugerida ANEEL/MME trabalha com vazões médias mensais, sendo que na realidade, a maioria das PCHs não possui reservatórios que permitam uma regularização mensal, sendo necessária a consideração de vazões médias diárias (FILL, 1989).

Tucci (2008), afirma que a consequência econômica das incertezas entre a energia média calculada e gerada também pode ocorrer na comercialização da energia. Ao vender um contrato de longo prazo de energia firme o proprietário da usina poderá, num período de escassez, ter que comprar energia no mercado para honrar seu contrato, caso sua PCH não forneça a energia prevista. Em tais situações, caso o preço da energia seja alto, pode levar a prejuízos no investimento. Dado que a abertura das PCHs ao mercado de investidores privados é grande, este é um parâmetro importante para a sequência dos investimentos na área, além da confiabilidade do sistema.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o método da ANEEL/MME de cálculo dos montantes de energia assegurada e garantia física, na escala mensal e diária, em um estudo de caso para a PCH Lambari, no rio Pesqueiro, estado de Santa Catarina, sub-bacia 73 (ANA).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização hidrológica da bacia do rio Pesqueiro/SC;
- Identificar as limitações do uso de modelos energéticos com base na série de vazões médias mensais para definição de potência instalada de uma PCH;
- Comparar os cálculos da energia assegurada e garantia física para o método proposto pela ANEEL/MME.

4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 DEFINIÇÃO DE PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA

A concepção básica de uma usina hidrelétrica é de uma barragem de armazenamento de água, com uma condução que, por meio da diferença de níveis do reservatório e do ponto de restituição de água ao corpo hídrico (energia potencial), se converta em energia mecânica, pelas turbinas e que, essa energia seja transmitida ao gerador elétrico e então seja convertida em energia elétrica. Assim, a altura da queda d'água e a vazão dependem do local de construção, e, determinarão qual será a capacidade instalada (ELETROBRÁS, 2000).

A ANEEL determina se a usina é de grande, médio ou pequeno porte de acordo com a potência instalada: Centrais Geradoras Hidrelétricas (com até 3 MW), Pequenas Centrais Hidrelétricas (entre 3 MW e 30 MW) e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE, com mais de 30 MW).

Na primeira edição do Manual da Eletrobrás (1982), uma usina hidrelétrica era considerada como uma PCH quando:

- A potência instalada total estivesse compreendida entre 1,0 MW e 10 MW;
- A capacidade do conjunto turbina-gerador estivesse compreendida entre 1,0 MW e 5,0 MW;
- Não fossem necessárias obras em túneis (conduto adutor, conduto forçado, desvio de rio, etc.);
- A altura máxima das estruturas de barramento do rio (barragens, diques, vertedouro, tomada d'água, etc.) não ultrapassasse 10 m;
- A vazão de dimensionamento da tomada d'água fosse igual ou inferior a 20 m³/s.

Devido as mudanças que o país enfrentou quanto à demanda de energia elétrica, essas considerações foram atualizadas e a Lei nº 9.648, de 1998 autoriza a dispensa de licitações para empreendimentos hidrelétricos de até 30 MW de potência instalada, para autoprodutor e produtor independente, desde que os empreendimentos mantenham as características de PCH (BRASIL, 1998).

O aproveitamento hidrelétrico com área de reservatório superior a 13 km², excluindo a calha do leito regular do rio, será considerado como PCH se o reservatório for de regularização, no mínimo, semanal ou cujo

dimensionamento, comprovadamente, foi baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica (ANEEL, 2015).

As PCHs são usualmente a fio d'água. Esse tipo de PCH dispensa estudos de regularização de vazões e estudos de sazonalidade da carga elétrica do consumidor, e facilita os estudos e a concepção da tomada d'água. Porém, como será mostrado nos resultados, é importante que a PCH seja projetada para pelo menos um metro de variação, a fim de realizar um deplecionamento diário, com intuito de diminuir os vertimentos e aumentar a produtividade energética, para fins de atendimento da garantia física.

4.2 HISTÓRICO DAS PCHS NO BRASIL

Nas décadas de 70 e 80, devido à crise do petróleo e ao destaque às questões ambientais no mundo, o setor energético viu a necessidade de investir em fontes alternativas de geração de energia. No Brasil, o setor sempre baseou a produção de energia elétrica através dos abundantes recursos hídricos em disposição.

Porém, os problemas ambientais e a falta de recursos públicos para os investimentos em grandes empreendimentos fez com que as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) representassem uma alternativa viável a fim de driblar essa situação e com o fim do monopólio do Estado no setor elétrico em 1997, até hoje, mais de R\$ 1 bilhão foram aplicados por investidores privados na elaboração e no licenciamento ambiental de cerca de 1000 projetos de PCHs, totalizando mais de 9.000 MW em empreendimentos protocolados na ANEEL (ANEEL, 2016).

Segundo Relatório da ANEEL (2016), em termos de potência já instalada, as PCHs estão situadas em 3º lugar entre as fontes de energia do país com 4.126 MW gerados, e, somados os potenciais de PCHs existentes, há um total considerável de potência de 14.926 MW, uma quantidade de potência superior à da Usina Binacional de Itaipu.

4.3 ASPECTOS LEGAIS E REGULAMENTARES SOBRE CÁLCULOS DA ENERGIA

De acordo com a Constituição Federal (BRASIL, 1998), os potenciais de energia hidráulica constituem bens da União (Capítulo II, art. 20, inciso VIII). Ainda, de acordo com a Constituição, compete à União explorar diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão, o aproveitamento energético dos cursos d'água, em

articulação com os Estados onde se situam os potenciais hidroenergéticos (Capítulo II, art. 21, inciso XII, alínea b).

Quanto a Resolução Normativa da ANEEL nº 673, de 4 de agosto de 2015, estabelece os requisitos e procedimentos para a obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico com características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH.

Com o objetivo de incentivar a construção de novas usinas, e ao mesmo tempo evitar contratos especulativos que poderiam diminuir a confiabilidade de atendimento, a nova regulamentação exige que a energia (MWh) e a potência (MW) contratadas por um agente gerador, tenham o respaldo de uma geração física capaz de assegurar os respectivos suprimentos (ANEEL, 2015).

4.3.1 Cálculo da Energia Assegurada

Segundo a descrição do Caderno Temático da ANEEL (2005), a energia assegurada do sistema elétrico brasileiro é a máxima produção de energia que pode ser mantida pelas usinas hidrelétricas ao longo dos anos, simulando a ocorrência de cada uma das muitas possibilidades de sequências de vazões criadas estatisticamente, admitindo certo risco de não atendimento à carga e está associada às condições que cada usina pode fornecer ao sistema ao longo dos anos, assumindo um critério específico de risco do não atendimento do mercado, devido, principalmente, a variabilidade hidrológica à qual a usina está submetida.

Tendo em vista que a quase totalidade das PCH é constituída por usinas a fio de água, sem regularização a montante, e sendo o seu efeito sobre a geração das outras usinas do sistema desprezível, a avaliação da energia garantida resume-se, inicialmente, ao cálculo da média das energias afluentes, censuradas pelo engolimento máximo das turbinas, de uma série de afluições sobre um período adequado (Fill, 2006).

A Resolução Normativa da ANEEL nº 62, de 05 de maio de 2004, baseada na Resolução Normativa da ANEEL nº 169, de 2001, estabelece os procedimentos para o cálculo do montante correspondente à energia de referência de empreendimento de geração de energia elétrica, para participar do PROINFA. Para o cálculo de energia assegurada, devem ser seguidas as seguintes orientações (ANEEL, 2001):

a) o histórico das vazões médias mensais de vazão referentes aos últimos trinta anos, no mínimo, contados retroativamente a partir do penúltimo ano em relação à data de solicitação, devendo este estar em conformidade com o histórico de vazões apresentado no projeto básico aprovado;

- b) o detalhamento da metodologia de obtenção do histórico de vazões especificado na alínea anterior;
- c) o valor da vazão remanescente do aproveitamento;
- d) o valor do rendimento do conjunto turbina-gerador, da queda bruta média e das perdas hidráulicas;
- e) o valor da potência instalada;
- f) o montante do consumo interno; e
- g) o valor esperado da Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada – TEIF e da Taxa Equivalente de Indisponibilidade Programada – TEIP.

A partir dessas informações, o cálculo do montante de energia de referência para uma PCH, deverá ser calculado segundo a ANEEL, através da Equação 1:

$$ER = \left[\frac{\bar{E}(1 - TEIF)(1 - TEIP)}{1000} \right] (MW_{\text{médio}})$$

Equação 1

$$\bar{E} = \frac{\sum Ei}{n} (KW_{\text{médio}})$$

Equação 2

$$Ei = (Qi - qr)\rho, \text{ com } (Ei \leq P(KW_{\text{médio}}))$$

Equação 3

$$\rho = 9,81(Hb - h)\eta_{tg} \left(\frac{KW_s}{m^3} \right)$$

Equação 4

Onde:

ER = energia de referência;

\bar{E} = valor esperado de produção considerando 100 % de disponibilidade;

Ei = capacidade de produção da PCH considerando-se o valor de Q_i integrante do histórico Q das médias mensais de vazão, subtraído da vazão remanescente “qr”;

Q_i (m^3/s) = vazão média do mês i ;

qr (m^3/s) = vazão remanescente;

ρ = produtibilidade média da PCH;

n = número de meses do histórico de vazões;

Hb (m) = altura de queda bruta;

h (m) = altura correspondente às perdas hidráulicas;

η_{tg} (%) = rendimento do conjunto turbina-gerador;

TEIF (%) = taxa equivalente de indisponibilidade forçada;

TEIP (%) = taxa equivalente de indisponibilidade programada.

Sendo que, pela Resolução Normativa ANEEL nº 169/2001, a TEIF e TEIP podem ser calculadas por meio da Equação 5 e Equação 6, respectivamente:

$$TEIF = \frac{[\Sigma(HIfiPoti)]}{[\Sigma(HPPoti)]}$$

Equação 5

$$TEIP = \frac{[\Sigma(HIpiPoti)]}{[\Sigma(HPPoti)]}$$

Equação 6

Onde:

n= número de máquinas da central;

HIFi = horas indisponíveis forçadas da unidade i;

HIPi = horas indisponíveis programadas da unidade i;

HP = total de horas de análise;

Poti = potência da unidade i.

4.3.2 Cálculo da Garantia Física

A Portaria da ANEEL nº 463, de 03 de dezembro de 2009, estabelece a metodologia para o cálculo e revisão dos montantes de garantia física de energia de usinas hidrelétricas não despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), onde os cálculos devem ser acompanhados de:

- a) Potência Instalada Total (kW);
- b) Potência Instalada por Gerador (kVA) e seu Fator de Potência;
- c) Potência Instalada por Turbina (kW) e seu engolimento mínimo (m³/s);
- d) nt: Rendimento Nominal por Turbina (%);
- e) ng: Rendimento Nominal por Gerador (%);
- f) TEIF: Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada (%);
- g) IP: Indisponibilidade Programada (%);
- h) h: Perdas Hidráulicas Nominais (m);
- i) Hb: Queda Bruta Nominal (m);
- j) Perdascon: Perdas Elétricas até o Ponto de Conexão (%);

- k) Cint: Consumo Interno (MW médio);
- l) qr: Vazão Remanescente do Aproveitamento (m^3/s);
- m) qu: Vazão de Usos Consuntivos (m^3/s);
- o) histórico de vazões médias mensais (m^3/s), não inferior a trinta anos, e gerado de maneira que esse seja o mais extenso e atualizado possível, devendo estar em conformidade, quando couber, com o histórico de vazões apresentado no Projeto Básico aprovado;
- p) detalhamento da metodologia de obtenção do histórico de vazões especificado na alínea anterior, bem como de todas as informações necessárias para reprodução do referido histórico;
- q) apresentação das Anotações de Responsabilidade Técnica - ART's dos responsáveis técnicos pelos estudos hidrológicos e pelas demais informações utilizadas no cálculo da garantia física de energia.

A Resolução nº 169 de 03 de maio de 2001 estabelece os critérios para a utilização do Mecanismo de Realocação de Energia (MRE) por centrais hidrelétricas não despachas centralizadamente. Deve-se formalizar o pedido de participação do MRE, junto à ANEEL, fornecendo as seguintes informações:

- a) a série hidrológica de vazões médias mensais do local onde a central hidrelétrica se localiza, abrangendo período não inferior a 30 anos;
- b) o valor da Indisponibilidade Forçada (IF), dado pela Equação 7, e da Indisponibilidade Programada (IP) da central hidrelétrica, dado pela Equação 8:

$$IF = \frac{\Sigma(HIfi * Poti)}{\Sigma(HP * Poti)}$$

Equação 7

$$IP = \frac{\Sigma(HIfi * Poti)}{\Sigma(HP * Poti)}$$

Equação 8

A contabilização do MRE é uma importante aplicação dos valores de energia assegurada, pois é um mecanismo financeiro que objetiva compartilhar os riscos hidrológicos que afetam os geradores, na busca de garantir a otimização dos recursos hidrelétricos dos sistemas, contabilizando a energia produzida que é distribuída e transferindo o excedente daqueles que geraram além de sua energia assegurada para aqueles que geraram abaixo.

Todas as informações existentes sobre a bacia na qual será inserida a PCH e sobre o local devem ser pesquisadas em instituições oficiais, tais como a ANEEL, a ELETROBRÁS, a Concessionária de Energia, a CPRM, o IBGE, o Serviço Geográfico do Exército, etc. (ELETROBRÁS, 2000).

4.4 PROBLEMÁTICA - SÉRIE DE VAZÕES MENSAS E DIÁRIAS NOS MODELOS ENERGÉTICOS DE PCHS

Kern (2010) exemplificou em seu trabalho que a energia assegurada das usinas hidrelétricas é obtida por simulação de subsistemas equivalentes usando séries sintéticas, e otimização da operação térmica por programação dinâmica estocástica, obtendo-se a energia garantida com um risco de 5% do sistema hidrotérmico de não atender a demanda, e, através da parcela correspondente à geração hidráulica é então rateada entre as usinas individuais mediante simulação sobre o período histórico proporcionalmente à geração de cada usina no período crítico histórico (1949 – 1956), entretanto as PCHs não estão incluídas nessas simulações individualizadas.

Dessa forma, a ANEEL definiu outro critério para a energia assegurada das PCHs, baseada na média das afluências médias mensais censuradas, da Resolução nº 169/2001. Entretanto, Fill (1989) mostra que esse procedimento proposto pela ANEEL tende a superestimar a disponibilidade energética das PCHs, geralmente a fio d'água, sendo necessária a consideração da série de vazões diárias e não mensais.

O gráfico da Figura 1 foi retirado do estudo de Kern (2010), para demonstrar que os dados de vazões apresentam três picos que têm volumes de água vertidos, ou seja, não aproveitados para geração por serem superiores ao engolimento máximo da turbina, mostrando que há uma diferença entre a média mensal e a média mensal censurada neste mês específico. Esta diferença varia de mês para mês, porém, quando somada em todos os meses da série de trinta anos pode provocar um erro considerável no cálculo da energia assegurada da ANEEL.

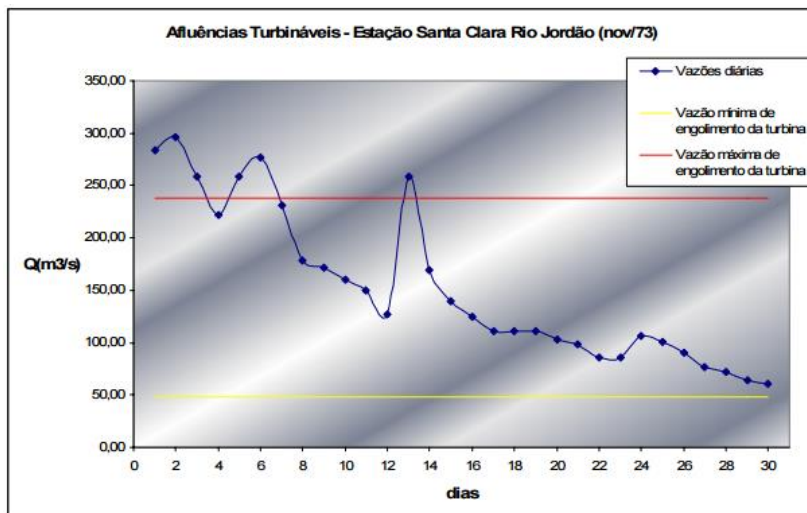


Figura 1. Afluências turbináveis de 1973 da Estação Santa Clara no Rio Jordão (Sub-Bacia 65) - KERN, 2010

As incertezas no cálculo da energia média e gerada pode fazer com que em tempos de escassez o proprietário não consiga cumprir com o contrato de energia firme, e isso pode fazer com que seja necessário comprar energia do mercado, o que deve acarretar em prejuízo (TUCCI, 2008).

Essas PCHs não possuem reservatórios que permitam a regularização mensal para que se trabalhe com dados de vazões médias mensais e estipula valores superiores aos quais a PCH poderia gerar (KERN, 2010)

Portanto, com um cenário crescente de demanda de energia e projetos de PCHs no país, o setor elétrico necessita aprimorar a avaliação da energia que poderá ser disponibilizada ao mercado de forma precisa, ou o sistema elétrico entrará em risco.

4.5 DEPLECIONAMENTO NA ESCALA DIÁRIA

Entre os tipos de usinas, existem dois tipos de reservatórios, aqueles de acumulação e os de fio d'água. Os reservatórios geralmente estão localizados em altas quedas d'água, dado o seu grande porte permitem o acúmulo de grande quantidade de água e funcionam como estoques a serem utilizados em períodos de estiagem. Já as unidades a fio

d'água geram energia com o fluxo de água do rio, pela vazão com mínimo ou nenhum acúmulo do recurso hídrico (ATLAS DA ANEEL – Energias Renováveis)

A depleção máxima do reservatório vai caracterizar o nível mínimo do mesmo. Sua definição deve garantir o melhor uso dos recursos naturais da bacia, a médio e longo prazos. O nível de água máximo normal de operação em uma usina hidrelétrica crescerá até que o rendimento energético supere os custos da operação, ou ocorra algum impedimento técnico ou ambiental.

O deplecionamento está diretamente ligado ao cálculo da energia firme do sistema, e quanto maior for a depleção do reservatório, os outros fatores permanecem constantes, e maior será a energia firme. Segundo as Diretrizes de Pequenas Centrais Hidrelétricas da Eletrobrás (2000), esse aumento de energia firme pode resultar no aumento da vazão média no período crítico, devido o acréscimo de volume útil ao volume escoado pelo rio e a redução dos vertimentos, pela capacidade maior de reter picos de cheias que possam ocorrer no período crítico.

Porém, como afirma a ELETROBRÁS (2000), o uso do maior volume de um reservatório reduz seu nível médio e, portanto, sua queda líquida e a redução da queda diminui os ganhos de energia proporcionados pelo aumento de vazão regularizada, o que conduz a uma perda de potência máxima da usina. Então o aumento da depleção conduz a uma variação de energia firme, às vezes positiva e às vezes negativa, sobre o valor da água no reservatório e a uma variação sempre negativa na potência garantida para a usina.

Quando o aumento da depleção proporcionar uma variação de energia firme positiva, implica possível necessidade de reforço nas estruturas de adução e só deve ser considerada enquanto o valor econômico dos benefícios energéticos incrementais derrubarem os custos incrementais correspondentes (ELETROBRÁS, 2000)

No caso das PCHs a fio de água, não há reservatório de acumulação, porém estas normalmente são projetadas para que a tomada de água tenha pelo menos um metro de deplecionamento. Este estudo tem o intuito de mostrar a importância de se ter um deplecionamento mínimo, mesmo que o volume seja pequeno, para conseguir atender a garantia física ou energia assegurada determinadas no Projeto Básico, através do cálculo energético com a série de vazões médias mensais.

5. METODOLOGIA

A metodologia de cálculo energético tem como principais dados as vazões médias mensais, obtidos através da caracterização hidrológica da bacia hidrográfica, por estudos climatológicos, fisiográficos, pluviográficos e fluviográficos.

O cálculo energético, neste trabalho, foi efetuado em duas etapas. Primeiramente, de acordo com a ANEEL, que indica o uso das vazões médias mensais para determinar a energia assegurada e garantia física. Em seguida serão apresentados os mesmos cálculos para as vazões diárias e será feita uma comparação dos resultados, buscando ilustrar a problemática que acontece na geração de energia elétrica por PCHs.

5.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA

5.1.1 Fisiografia

O estudo e a comparação de características como área, perímetro, forma, densidade de drenagem, declividade do rio, tempo de concentração, cobertura vegetal, uso, ocupação e relevo, que são os aspectos fisiográficos, auxiliam na interpretação dos resultados dos estudos hidrológicos.

Os parâmetros fisiográficos são levantados para todos os pontos de interesse na bacia, tanto para os locais das estações fluviométricas, quanto para PCH e afluentes do rio. Nos subitens 5.1.1.1 a 5.1.1.4 são descritos os parâmetros levantados e índices calculados:

5.1.1.1 *Coefficiente de compacidade (Kc)*

É a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia, ou seja:

$$A = \pi r^2$$

Equação 9

Sendo que:

$$r = \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}$$

Equação 10

Então:

$$Kc = P/(2\pi r) \rightarrow Kc = P/(2\pi \cdot \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5})$$

Equação 11

$$Kc = 0,28 * (P/(A^{0,5}))$$

Equação 12

Onde:

P é o perímetro da bacia (km)

A é a área de drenagem da bacia (em km²).

O índice de compacidade, Kc , é uma medida do grau de irregularidade da bacia, já que para uma bacia completamente circular o valor do índice de compacidade é igual a 1,0. Desde que outros fatores não interfiram, quanto mais próximo da unidade for o índice de compacidade, maior será a potencialidade de ocorrência de picos elevados de enchentes.

5.1.1.2 Fator de forma (Kf)

É a relação entre a área da bacia hidrográfica e o quadrado de seu comprimento axial, medido ao longo do curso de água principal, desde a foz até a cabeceira mais distante, próxima do divisor de águas (Figura 2), ou seja:

$$Kf = A/LA^2$$

Equação 13

Onde:

L é o comprimento axial da bacia (km)

A é a área de drenagem da bacia (km²).

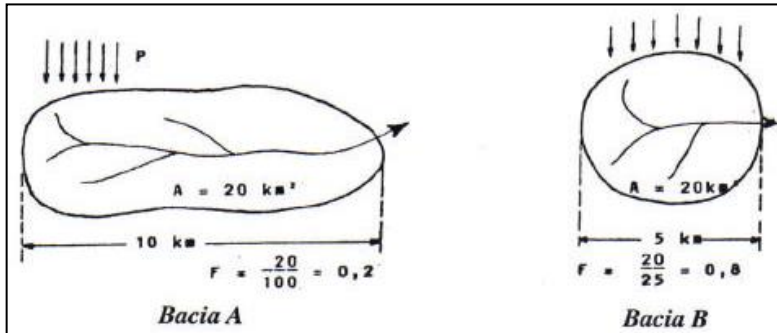


Figura 2. Determinação do fator de forma para duas bacias de mesma área.

O fator de forma relaciona o formato da bacia com um quadrado. Analisando a Figura 2, o escoamento direto de uma chuva na bacia (A) não se concentra tão rapidamente como em (B), além do fato de que numa bacia estreita e longa (A), a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo, ao mesmo tempo, toda sua extensão, é menor que em bacias largas e curtas (B). Portanto, para bacias de mesmo tamanho, aquela que possuir menor fator de forma, estará menos sujeita a enchentes.

5.1.1.3 Declividade média da bacia (S)

Foi considerada como sendo a relação entre o desnível da nascente e o local da barragem pela extensão total do curso de água principal, ou seja:

$$S = H/L$$

Equação 14

Onde:

H é o desnível entre a nascente e o local da barragem (km)

L é a extensão total do curso de água principal (km)

A declividade dos terrenos controla em boa parte a velocidade na qual ocorre o escoamento superficial, afetando o tempo que a água da chuva leva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias. A magnitude dos picos de enchente e a maior ou a menor oportunidade de infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia.

5.1.1.4 *Tempo de concentração (Tc)*

É o tempo necessário para que toda a bacia contribua com o escoamento superficial numa seção considerada, ou seja, é o tempo em que a gota, que se precipita no ponto mais distante da seção considerada de uma bacia, leva para atingir esta seção. Para o cálculo do tempo de concentração adotou-se a fórmula do Corps of Engineers (USA). Adotou-se a Equação 15 por ser a mais confiável para bacias de até 12000 km² (SILVEIRA, 2005).

$$Tc(min) = (0,191 \times L)^{0,76} \times \left(\frac{\Delta H}{L}\right)^{-0,19}$$

Equação 15

5.1.2 **Climatologia**

O estudo climatológico caracteriza a região do local do empreendimento, por meio de estações de dados de clima, fornecendo informações de temperatura, insolação, umidade relativa, evaporação e evapotranspiração e pressão atmosférica. A partir desses dados é possível analisar o comportamento da bacia hidrográfica de acordo com os eventos naturais a que ela está submetida e definir a melhor previsão para os comportamentos futuros.

5.1.3 **Pluviometria**

Os dados das estações de referência para o estudo estão disponibilizados no site da Agência Nacional das Águas, no HIDROWEB.

Para cada estação escolhida para a análise são calculadas as precipitações características totais anuais, para cada mês e ano, assim como o número de dias de chuva. Com as vazões máximas mensais são determinadas as Curvas de Precipitação VS Duração VS Frequência (PDF), comparando três diferentes métodos de distribuição, para que seja utilizado aquele com menor erro padrão de acordo com os dados.

Não há uma recomendação específica da ANEEL sobre qual método deve ser utilizado nas extrapolações dos dados de precipitação, então, para o presente trabalho foram selecionadas as distribuições de Gumbel, Exponencial e Chow-Gumbel.

5.1.3.1 *Método Dupla Massa*

O método da dupla massa, descrito por Bertoni e Tucci (2007), analisa a consistência das séries anuais dos dados de chuva por meio de uma análise de tendência linear dos dados com relação aos dados das estações vizinhas.

Plota-se um gráfico com as chuvas totais anuais e, analisando o ajuste da equação da reta e do coeficiente de determinação, pela técnica de minimização da soma dos quadrados dos desvios, é verificada a tendência linear da série em relação às demais.

5.1.3.2 *Método do Vetor Regional*

O método do vetor regional consiste na determinação de uma série cronológica, sintética, de índices pluviométricos anuais, pela máxima verossimilhança da informação contida nos dados de um conjunto de estações agrupadas regionalmente (BERTONI; TUCCI, 2007).

Esses índices são únicos para toda a região e estão relacionados às precipitações em cada estação por meio de coeficientes de estimativas da precipitação anual, para cada estação e período, sendo que:

$$P_{i,j} = L_i * C_j$$

Equação 16

Onde:

L_i é o vetor regional do período

C_j é o vetor linha do número de estações pluviométricas

5.1.3.3 *Método dos Momentos*

Estas distribuições estatísticas utilizadas no estudo possuem parâmetros, que dentre outras formas, podem ser encontrados a partir do método da máxima verossimilhança (MVS) e do método dos momentos (MOM).

Segundo Naghettini e Pinto (2007), o método dos momentos é o método de estimação mais simples e para amostras pequenas pode apresentar a mesma eficácia dos demais.

O software ALEA 1.0, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), permite realizar o cálculo de estimativas MOM e de MVS para diversas distribuições de probabilidades.

5.1.3.4 Curva Precipitação VS Duração VS Frequência (PDF)

As curvas PDF para cada estação pluviométrica foram determinadas considerando as precipitações máximas diárias de cada ano. São calculadas as estatísticas e parâmetros das distribuições de Gumbel, exponencial e Gumbel-Chow com K de Fill, sendo considerada a distribuição que apresentou o menor erro padrão.

Então, são estimados os valores para diferentes durações para os diferentes tempos de recorrência por relações entre as durações definidas e pelos estudos da CETESB (1979) e Back (2006), apresentados nas Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1. Relação entre alturas pluviométricas (Fonte: DNOS)

Relação entre alturas pluviométricas	Valores obtidos do estudo do DNOS (médios)
5min/30min	0,34
10min/30min	0,54
15min/30min	0,70
20min/30min	0,81
25min/30min	0,91
30min/1h	0,74
1h/24h	0,42
6h/24h	0,72
8h/24h	0,78
10h/24h	0,82
12h/24h	0,85
24h/1dia	1,14

Tabela 2. Relação entre alturas pluviométricas (Fonte: Back (2006) e CETESB (1979))

relações entre durações	T – Período de retorno (anos)							Cetesb	
	2	5	10	20	25	50	100	Méd.	
5min/30min	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,34
10min/30min	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54
15min/30min	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,70
20min/30min	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,81
25min/30min	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	0,93	0,91
30min/1 h	0,81	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,80	0,74
35min/1 h	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	
40min/1 h	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	
45min/ 1h	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	
50min/1 h	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
55min/1 h	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	
1 h/24 h	0,37	0,38	0,40	0,40	0,43	0,44	0,45	0,41	0,42
1,5 h/24 h	0,39	0,41	0,43	0,44	0,46	0,48	0,50	0,44	
2 h/24 h	0,42	0,44	0,47	0,48	0,51	0,52	0,55	0,48	

5.1.3.4.1 Distribuição de Gumbel

A distribuição de Gumbel, conhecida também como função de valores extremos do tipo I, possui apenas dois parâmetros, de posição e de escala.

$$y(TR) = \mu - \left(\alpha * \left(\ln - \left(\ln \frac{1}{TR} \right) \right) \right)$$

Equação 17

Onde:

μ , α = parâmetros de forma, escala e posição respectivamente;

TR = tempo de retorno.

5.1.3.4.2 Distribuição Exponencial

$$y(TR) = X_o - \left(DV * \left(\ln \left(\frac{1}{TR} \right) \right) \right)$$

Equação 18

Onde:

Xo = valor médio de precipitação subtraído do desvio padrão;

DV = desvio padrão da amostra;

TR = tempo de retorno.

5.1.3.4.3 Distribuição Chow-Gumbel

$$y(TR) = Média + (k * DV)$$

Equação 19

$$k = \left(0,7797 * (\ln(TR)) \right) - 0,45$$

Equação 20

Onde:

X = valor médio de precipitação;

TR = tempo de retorno;

DV = desvio padrão da amostra

5.1.4 Fluviometria

Os estudos fluviométricos das estações ocorrem de forma similar aos estudos pluviométricos na sua obtenção de dados. Para o estudo fluviométrico, é feito o download dos dados em formato .txt e organizado em planilhas do Excel com as seguintes informações:

- Dados da Estação
- Disponibilidade de Dados
- Cotas
- Vazões
- Resumo de Descarga
- Perfil da Seção Transversal
- Cota Alinhada

- Vazão Alinhada
- Análise da Curva de Descarga da ANA
- Cálculo da Curva de Descarga
- Transformação Cota-Vazão
- Série Final de Vazões Médias Diárias
- Série Final de Vazões Médias Mensais

Dessas informações, o HIDROWEB, disponibiliza dados da estação, cotas, vazões, resumo de descarga e perfil da seção transversal, que serviram de base para os estudos de análise hidrológica do setor energético, gerando as vazões finais para os cálculos de energia assegurada.

A partir das cheias máximas médias diárias das estações base, calcula-se as estatísticas (média, desvio-padrão, variância, assimetria e curtose). É recomendado pela ANEEL, para PCHs, no manual da ELETROBRÁS, que seja utilizada a Distribuição Exponencial de dois parâmetros sempre que a assimetria da amostra for superior a 1,5, já para assimetrias amostrais inferiores a 1,5, deve ser utilizada a Distribuição de Gumbel.

5.1.4.1 Curva-chave

A curva-chave, ou curva de descarga, é uma representação gráfica das medições hidrométricas, aos pares de valores de leitura e vazão. Essa deve ser monotonamente crescente e com concavidade voltada para cima.

A equação utilizada neste trabalho para expressar essa relação é do tipo polinomial:

$$Q = a(h - h_0)^b$$

Equação 21

Onde:

- Q vazão líquida, em m³/s;
h leitura de régua correspondente à vazão Q, em m;
h_o leitura de régua correspondente à vazão Q_o, nula, em m;
a e b constantes, determinadas para o local.

Na análise da Curva de Descarga da ANA tem-se uma coluna com os dados de vazão diários e outra com os dados de cotas diárias, e com

estes é gerado o gráfico das curvas de descarga ajustadas durante todo o período de operação da estação.

Podem haver mais de uma curva de descarga, sendo assim, é preciso verificar para qual período cada uma é válida, ou seja, de que dia a que dia cada curva foi utilizada. Podem haver também uma nuvem de pontos neste gráfico, que indicam que foi ajustada a vazão e não a cota, com isso, deve-se fazer a transformação de vazão em cota, considerando a curva de descarga de cada período. Com isso tem-se a série de cotas verdadeira final.

O próximo passo é analisar o ajuste da(s) curva(s) de descarga aos dados de medição de vazão em campo e verificar a extrapolação ajustada, utilizando os métodos logaritmo, Stevens, Manning e Velocidade Média VS Área Molhada. Os métodos são brevemente descritos nos subitens 5.1.4.1.1 a 5.1.4.1.4.

Caso a curva de descarga e/ou sua extrapolação não estejam bem definidas (ajustadas), deve-se utilizar o método logaritmo para o trecho com medições de campo e um método entre os quatro supracitados para a extrapolação.

Uma vez que se dispõe de poucas medições de campo em períodos de cheias, devido à dificuldade dessa operação, faz-se necessário encontrar alternativas de extrapolação destes dados de leitura e descarga para as faixas de cotas superiores. Para tal, foram estimadas extrapolações utilizando quatro diferentes métodos reconhecidos pela ANEEL nos cálculos hidrometeorológicos.

5.1.4.1.1 Método logarítmico

Método simples, aplicável em rios com seção transversal muito regular e com um único controle. As medições devem ser plotadas em *di-log*, na qual o trecho a extrapolar é ajustado a partir da equação da reta:

$$\log Q = \log(a) + b \cdot \log(h - h_o)$$

Equação 22

Caso graficamente seja constatado um alinhamento dos pontos, o valor de h_o é nulo. Se o conjunto de pontos de medição apresentar uma curvatura, procura-se determinar o valor de h_o que retifica a curva. Se a convexidade da curva for orientada para as vazões, o valor de h_o é positivo, em caso contrário será negativo. A determinação de h_o é feita graficamente por tentativas sucessivas até se obter o melhor alinhamento possível.

5.1.4.1.2 Método de Stevens

A aplicação é adequada em rios largos, em que o raio hidráulico pode ser considerado igual à profundidade média do escoamento. O método apresenta a fórmula de Chézy separada nos fatores geométrico e de declividade:

$$Q = C * A * \sqrt{R} * I$$

Equação 23

Onde:

$$\frac{Q}{A\sqrt{R}} = C\sqrt{I}$$

Equação 24

E fator geométrico:

$$\frac{Q}{A\sqrt{R}}$$

Equação 25

Enquanto, o fator de declividade:

$$C\sqrt{I}$$

Equação 26

Nos limites da aplicação da fórmula de Chézy, os dois termos da equação variam muito pouco, podendo ser considerados constantes.

A função $Q = f * A * \sqrt{R}$ pode então ser representada por uma reta que passa pela origem. Essa reta, traçada a partir das medições disponíveis, pode ser prolongada até o valor do fator geométrico correspondente à cota máxima observada.

5.1.4.1.3 Método de Manning

Similar ao Método de Stevens. A partir da equação de Manning e da equação da continuidade, esse método considera que o quociente da raiz da declividade da linha d'água pelo coeficiente da rugosidade de Manning, tende a tornar-se constante em vazões altas (TUCCI; SILVEIRA, 1985).

$$k = \frac{Q}{A_m * Rh^{\frac{2}{3}}}$$

Equação 27

Onde:

k = coeficiente de extrapolação de Manning;

Q = vazão (m³/s);

A_m = área molhada;

R_h = raio hidráulico.

5.1.4.1.4 Método Velocidade Média VS Área Molhada

O método da velocidade pela área admite que, para cotas elevadas, a velocidade média cresce linearmente em relação às cotas (TUCCI; SILVEIRA, 1985). Admite-se neste método que, ao extrapolar as velocidades médias pelas suas cotas, serão gerados resultados consistentes para os valores de cotas à serem extrapolados. Então, a partir da equação da continuidade, pode-se estimar a vazão extrapolada.

Se não há necessidade de modificação da curva de descarga os dados de vazão são os mesmos que os baixados do site HIDROWEB, caso haja necessidade de modificação na curva de descarga deve ser realizada a transformação da série final de cotas em vazão pela nova curva de descarga. Podem haver mais de uma curva de descarga, sendo que esta transformação deve obedecer a validade de cada período.

5.1.4.2 Séries de vazões médias mensais

A partir das séries históricas das estações estabelecidas, próximas ao local de empreendimento e de acordo com as características coincidentes da região, é estabelecida uma série de vazões médias mensais por correlação direta entre áreas de drenagem, que deve ser limitada à uma diferença entre áreas de, no máximo, quatro vezes.

$$Q_1 = \frac{A_1}{A_2} \cdot Q_2$$

Equação 28

Onde:

A₁ área de drenagem do local do aproveitamento, em km²;

A₂ área de drenagem do posto existente, em km²;

Q₁ vazão do local do aproveitamento, em m³/s;

Q₂ vazão do posto existente, em m³/s.

Para os cálculos, é de exigência da Agência Nacional de Energia Elétrica que as séries históricas possuam ao menos 30 anos de registro, compreendendo, se possível, o período crítico do Sistema Interligado Brasileiro.

5.1.4.3 *Curvas de permanência*

A curva de permanência é muito utilizada na área da engenharia para avaliar o potencial de abastecimento de uma seção fluvial, pois apresenta a frequência com que os valores da sua série temporal são alcançados ou superados (TUCCI, 1997).

Segundo Tucci (1997), a determinação da curva de permanência pode ser feita através da ordenação da variável temporal em ordem decrescente, atribuindo ordem 1 ao maior valor e ordem n ao menor, em uma amostra com n dados, então é computada a frequência com que cada valor é igualado ou superado.

No seu Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, a ELETROBRÁS sugere o uso da Equação 29:

$$d = \frac{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}}{Nc - 1}$$

Equação 29

Onde:

d = amplitude de cada intervalo, em m^3/s ;

$Q_{\text{máx}}$ = vazão máxima da série, em m^3/s ;

$Q_{\text{mín}}$ = vazão mínima da série, em m^3/s ;

Nc = número de intervalos de classe, calculado por:

$$Nc = 1 + 3,3 * \ln(n)$$

Equação 30

Onde:

n = número de dados da amostra;

Definida a amplitude, a frequência de cada classe é obtida contando o número de vazões da série que caem no intervalo. Acumulando os valores no sentido da maior vazão para a menor, obtêm-se os valores de permanência. A probabilidade, P_i , em porcentagem, de uma vazão Q ser igual ou maior que Q_i é dada pela Equação 31:

$$P_i = \frac{d_i}{Nv} * 100$$

Equação 31

Onde:

Nv = o número total de valores, ou, $\sum f$.

5.1.4.4 Série de Vazões Mínimas

A análise de probabilidade de vazões mínimas é estabelecida para os menores valores médios de um período de “d” dias, que para o presente trabalho é de 7 dias, por recomendação da Fundação do Meio Ambiente (FATMA), órgão ambiental de Santa Catarina. Para a determinação da vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de recorrência ($Q_{7,10}$) foram analisados os dados das vazões mínimas médias de 7 dias de duração de cada ano no local do posto fluviométrico Jardinópolis, por três diferentes métodos.

O método de distribuição de vazões mínimas por Cunnani determina o tempo de retorno de uma certa vazão, em que o $Q_{7,10}$ ordenados de forma crescente e o cálculo do período de retorno é dado pela Equação 32:

$$TR = \frac{n - (2 * a + 1)}{(m - a)}$$

Equação 32

Onde:

n é o número de valores da amostra;

a é o parâmetro específico da distribuição (0,4 neste caso);

m é a colocação do valor da amostra do evento mais raro para o menos raro.

A distribuição de Gumbel de valores mínimos é bastante usada na análise de frequência de eventos hidrológicos mínimos anuais. A função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel (mínimos) é dada pela Equação 33:

$$Q = \left(\frac{\left\{ \ln * \left[-1 * \ln \left(1 - \left(\frac{1}{TR} \right) \right) \right] \right\}}{\alpha} \right) + \mu$$

Equação 33

Onde:

α é 1,2826 dividido pelo desvio padrão das mínimas médias anuais ordenadas;

μ é a média das mínimas médias anuais ordenadas mais 0,451 vezes o desvio padrão das mínimas médias anuais ordenadas.

A distribuição de extremos mínimos de Weibull, em um cenário de extremos mínimos, as vazões que escoam por uma seção fluvial são forçosamente limitadas inferiormente pelo valor zero, o que faz com que a distribuição de Weibull seja viável à modelação de eventos hidrológicos mínimos. A sua equação é dada pela Equação 34:

$$Q = \beta * \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right]^{\frac{1}{\alpha}}$$

Equação 34

5.1.4.5 Série de Vazões Máximas

A distribuição de valores extremos do Tipo I, também conhecida como distribuição de Gumbel, Fisher-Tippet tipo I e dupla exponencial, é a distribuição extrema mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com inúmeras aplicações na determinação de relações intensidade-duração-frequência de precipitações intensas e estudos de vazões de enchentes com assimetria inferior à 1,5. A função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel é dada pela Equação 35:

$$y(F) = \beta - \alpha \ln \left(-\ln \left(\frac{1}{TR} \right) \right)$$

Equação 35

Onde:

α representa o parâmetro de escala;

β o parâmetro de posição;

TR é o tempo de retorno.

No método exponencial utilizou-se da Equação 36 para uma das análises das vazões máximas:

$$y(Tr) = Xc - \left(DP * \ln \left(\frac{1}{Tr} \right) \right)$$

Equação 36

Para a determinação das vazões máximas de pico instantâneo foi utilizado o método de Fuller, o qual leva em consideração a área de drenagem como variável principal.

$$Q_{PICO} = Q_{MÉDIA} \times \left(1 + \left(\frac{2,66}{AD_{PCH}^{0,3}} \right) \right)$$

Equação 37

Onde:

AD = Área de drenagem no local de interesse, em km².

A análise das curvas de frequência de cheias são divididas entre os períodos Anual e de Seca, que são os meses de maio a abril e de novembro a abril, respectivamente, devido ao comportamento característico da região sul do Brasil.

5.2 CÁLCULOS ENERGÉTICOS

A metodologia utilizada na realização dos cálculos energéticos deste estudo não irá detalhar as questões de projeto, e todas as informações que não dizem respeito ao objetivo do trabalho.

As fórmulas utilizadas no cálculo energético foram descritas no Item 4.3 e o modelo energético do projeto básico de Estelar Engenheiros Associados LTDA. para a PCH em questão, que obedece a resolução da ANEEL/MME. O projeto foi aprovado pelo despacho ANEEL nº 3.838, 26 de novembro de 2015.

Para a primeira aplicação dos cálculos, quanto a determinação da garantia física e energia assegurada do empreendimento, foram utilizados os dados de vazão mensal, como determina a portaria da ANEEL. As vazões médias mensais utilizadas nas simulações são do período histórico determinado de 1960 a 2016.

Para o cálculo com os valores de vazões diárias, foi utilizado o método da determinação das vazões diárias por relação direta de área com a estação base, neste caso, Jardinópolis.

Foi censurado os valores mínimos com a soma da vazão sanitária e consuntiva, e censurados os valores máximos, com a vazão máxima turbinável (dados esses de acordo com o Projeto Básico da PCH Lambari, a fim de comparação). Dessa forma, foram descartadas as vazões que não são turbináveis, pelo valor mínimo de operação, e aquelas que ultrapassam a máxima capacidade da máquina, que acabam vertendo.

Nas simulações energéticas foi utilizada a vazão sanitária e vazão de uso consuntivo de $\frac{1}{4}$ de 50% da vazão mensal com 98% de permanência.

Foi considerado como nível máximo normal de reservatório a elevação 350,00 m, referente à crista da soleira do vertedouro concluída. A curva-chave do rio Pesqueiro no trecho de desemboque do canal de fuga indica que até vazões da ordem de 25,39 m³/s o nível de água deve permanecer na cota máxima de 330,35 m. O nível de água máximo de jusante, quando da passagem da cheia milenar no rio Pesqueiro se encontra próximo à cota 341,35 m.

O nível de jusante foi considerado variado conforme a vazão turbinada, obedecendo à curva de descarga.

As perdas de carga utilizadas foram as calculadas no Projeto Básico.

Para efeito de determinação da energia assegurada, foi considerada uma indisponibilidade forçada de 1,92% do tempo total (14 dias por ano para as duas máquinas), e uma indisponibilidade programada de 3,28% para manutenção (24 dias por ano para as duas máquinas), totalizando uma indisponibilidade de 5,14% do tempo.

O rendimento nominal da turbina foi considerado como 90,3% e para o gerador o rendimento médio considerado foi de 96%. Assim o rendimento para o conjunto turbina/gerador resultou igual a 86,7%.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA

6.1.1 Fisiografia da bacia

A bacia do rio Burro Branco apresenta como principais cursos d'água o rio Pesqueiro, na qual está localizada a PCH Lambari. No entanto, apesar do rio Pesqueiro ser o principal curso d'água, a sua denominação passa a ser rio Burro Branco após o encontro com esse rio.

Sua nascente localiza-se na divisa entre os Estados de Santa Catarina e Paraná, na El. 960,00 m, próximo às cidades de São Lourenço do Oeste e Campo Erê, escoando em direção sul, por uma extensão total de 137 km, até a El. 280,00 m, quando se encontra com o rio Chapecó. Sendo assim, possui um desnível de 680,00 m entre nascente e foz. Os cursos d'água não podem ser utilizados para navegação, pois se tratam de rios de razoável declividade, apresentando calado insuficiente, além de não existir demanda na região.

A bacia hidrográfica do rio Burro Branco (Figura 3), até a sua foz no rio Chapecó, apresenta as seguintes características fisiográficas:

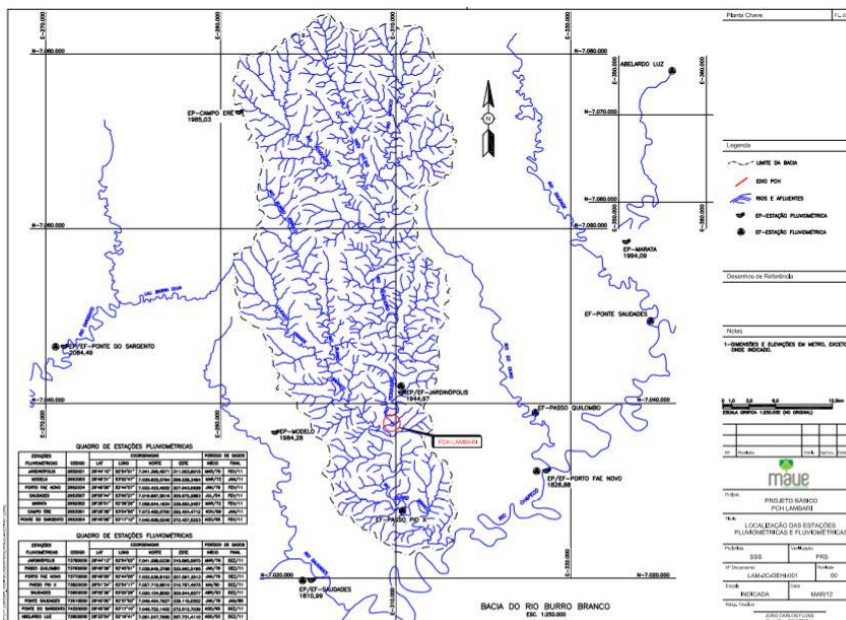


Figura 3. Bacia hidrográfica do rio Burro Branco e localização PCH Lambari

A Tabela 3 apresenta os dados e coeficientes da bacia do rio Pesqueiro, sub-bacia da bacia do rio Burro Branco, e do trecho da bacia até o eixo da barragem da PCH Lambari.

As características fisiográficas da bacia, como o coeficiente de compacidade, fator de forma e declividade, apontam para uma tendência em haver picos na bacia, com respostas rápidas aos eventos de chuva, como demonstrado pelo seu tempo de concentração, inclusive.

Tabela 3. Determinação dos coeficientes da bacia do rio Pesqueiro

Características da bacia	Símbolo	Unidade	Bacia total	Até o eixo da usina	Índices da bacia	Símbolo	Unidade	Bacia total	Até o eixo da usina
Extensão do curso principal de água	L	km	101	97	Coefficiente de compacidade	Kc	-	1,62	1,61
Área de drenagem	A	km²	683	666	Fator de forma	Kf	-	0,28	0,33
Perímetro	P	km	151	149	Declividade média do rio	S	m/km	6,12	6,23
Diferença de cotas	H	m	620	605	Tempo de concentração	Tc	min	994	955
Comprimento axial	LA	km	50	45	Densidade de drenagem	DD	km/km²	1,29	1,27

Comprimento de
todos os cursos
de água

LT km 883 846

6.1.2 Climatologia

Os dados climatológicos utilizados para definição do clima na região estudada foram obtidos do site HIDROWEB – ANA (Agência Nacional de Águas) através das estações meteorológicas de Chapecó e Xanxerê, próximas à PCH. Os dados das estações foram confirmados pelas Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990, do INMET.

Quadro 1. Estações Climatológicas

Estação	Código	Entidade Mantenedora	Dados Disponíveis
02752016	Chapecó	INMET	1973-1998
02652006	Xanxerê	INMET	1961-1978

Quadro 2. Características Climatológicas

Elemento	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evaporação (mm)	161	146	122	83	54	41	47	66	89	126	152	164
Temperatura Média (°C)	23,0	22,8	21,6	18,8	15,7	13,9	14,3	15,8	16,6	19,2	20,9	22,4
Chuva (mm)	155,4	193,8	117,8	136,8	151,7	119,9	133,0	108,7	167,8	224,7	169,7	150,0
Umidade (%)	73,0	75,0	75,0	76,0	78,0	77,0	74,0	71,0	72,0	71,0	69,0	71,0
Insolação (H/Dia)	7,4	7,0	7,2	6,3	5,9	5,3	5,7	5,4	5,5	6,8	7,6	7,7

O clima na região é do tipo sub-tropical, sendo que nos pontos mais elevados o clima apresenta transição para temperado. Segundo a classificação de Köppen, o clima pode ser classificado como “Cfb”, mesotérmico, úmido, com verão fresco, nas partes mais altas da bacia; e do tipo “Cfa”, mesotérmico, úmido, com verões quentes nos trechos médio e inferior.

A região da bacia hidrográfica está sujeita a uma predominância de tempo bom com dias ensolarados, interrompidos por sequências de dias chuvosos decorrentes da frente polar, especialmente no inverno e início da primavera, e por dias de chuvas intensas, mas de curta duração, decorrentes de linhas de instabilidade tropical, especialmente no verão e no final da primavera.

A insolação é o número de horas de brilho solar por dia e tem maior intensidade no período das 9 às 15 h, sofre influência direta das estações

do ano e períodos de nebulosidade intensa e chuvas. A média de horas de insolação por dia é superior a 6 horas no verão e diminui nos meses de meia estação e inverno.

Em relação a umidade relativa, percebe-se que a média dos meses de inverno é maior que nos meses de verão, devido a menor capacidade de evaporação. Para a evapotranspiração foi efetuado o cálculo, para comparação, pelo método de Thornthwaite para os locais das estações. Os resultados encontram-se nos quadros no Apêndice 9.1. Percebe-se, devido a variabilidade de temperatura, uma maior evaporação nos meses de verão.

Com relação a pressão atmosférica percebe-se que esta tem um formato de pirâmide, em que é mais baixa nos meses de verão e vai aumentando até chegar no pico nos meses de inverno. Essas diferenças de pressão têm uma origem térmica, estando diretamente relacionadas com a radiação solar e os processos de aquecimento das massas de ar.

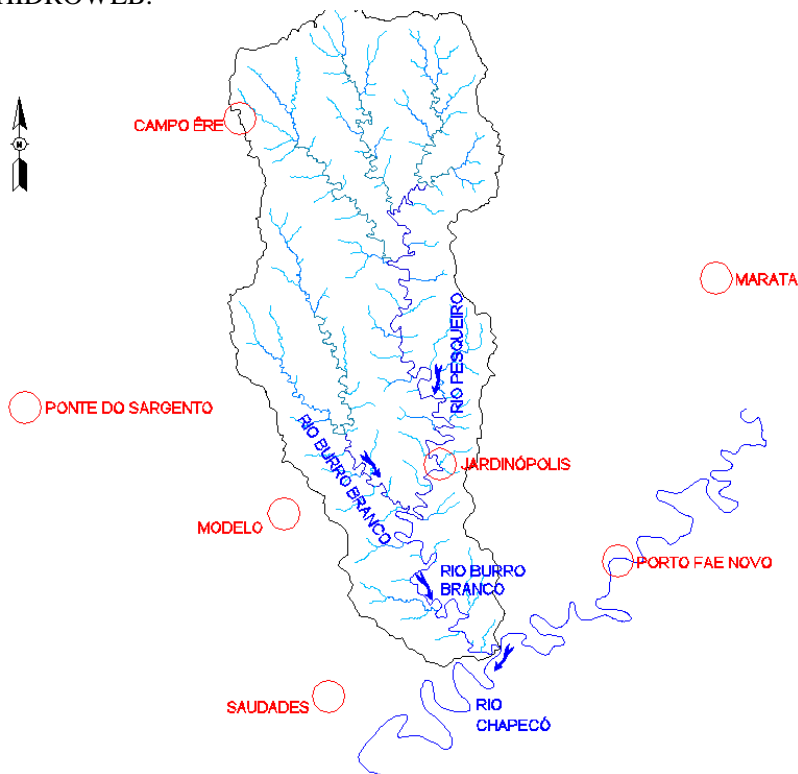
6.1.3 **Pluviometria**

Os estudos pluviométricos tiveram como base as estações pluviométricas apresentadas no Quadro 3. No presente trabalho para os cálculos são utilizados os dados da estação pluviométrica Jardinópolis. O uso dos dados desta estação justifica-se pela sua proximidade com a PCH e semelhança com as características de variação sazonal e interanual das outras estações da região. Para as demais estações os resultados podem ser visualizados no Apêndice 9.2.

Quadro 3. Estações pluviométricas

Posto Pluviométrico	Código	Latitude	Longitude	Início Da Série	Final Da Série
Jardinópolis	2652021	26°44'10"	52°54'01"	MAR/76	SET/13
Modelo	2653003	26°46'31"	53°02'47"	MAR/72	SET/13
Porto Fae Novo	2652034	26°49'09"	52°44'07"	JAN/79	SET/13
Saudades	2653007	26°55'44"	53°00'27"	JUL/54	SET/13
Marata	2652002	26°35'01"	52°38'25"	MAR/72	SET/13
Campo Êre	2653001	26°26'38"	53°04'55"	NOV/69	SET/13
Ponte Do Sargento	2653004	26°40'58"	53°17'12"	NOV/69	SET/13

A Figura 4 apresenta a localização das estações pluviométricas utilizadas neste estudo. Algumas outras estações próximas ao local da bacia não foram utilizadas devido à pequena quantidade de dados existentes ou pela não disponibilização de seus dados no sistema HIDROWEB.

**Figura 4. Localização das estações pluviométricas**

6.1.3.1 *Análise de Consistência*

A análise de consistência dos dados das estações foi realizada em dois passos, o primeiro pela comparação dos dados pluviométricos diários entre as estações (hietogramas simultâneos) e método da dupla massa para as precipitações totais anuais. O vetor regional foi utilizado para que os dados ausentes pudessem ser completados de maneira mais coerente.

O Apêndice 9.2.1 apresenta os resultados detalhados dos cálculos de consistência das estações pluviométricas. O método da dupla massa demonstra uma linearidade nos dados de precipitação acumulada regionalmente com relação aos dados de chuvas acumuladas de cada estação, caracterizando uma boa consistência nos dados disponibilizados e corrigidos pelo método do vetor regional. Com o resultado positivo quanto à qualidade dos dados é possível desenvolver a caracterização do comportamento da bacia.

6.1.3.2 *Precipitações Totais Mensais e Anuais*

As precipitações totais mensais da estação pluviométrica Jardinópolis apresenta-se no Quadro 4. A precipitação total anual média foi calculada em 1.936,5 mm e os totais médios mensais variam entre um mínimo de 89,6 mm em agosto e um máximo de 233,8 mm em outubro, com uma precipitação máxima total mensal registrada no período considerado de 659,8 mm em julho de 1983.

Os dados de precipitação de todas as estações pluviométricas selecionadas foram analisados, e os seus resultados estão disponíveis no Apêndice 9.2.2. Todas as estações seguem com as características climatológicas previstas, com o máximo acúmulo de precipitação no período do inverno e com uma média de precipitação total mensal não ultrapassando o valor de 200 mm, durante todo o ano.

Quadro 4. Precipitação Total Mensal - E. P. Jardinópolis

Precipitação Total Mensal - E. F. Jardinópolis																
A\M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total	Méd	Máx	Mín
1976				119,4	212,2	85,0	138,1	141,6	70,0	286,3	232,3	58,2		149,2	286,3	58,2
1977	210,2	227,6	229,7	36,3	46,9	146,4	59,9	168,3	99,3	168,0	201,3	109,1	1703,0	141,9	229,7	36,3
1978	189,3	10,8	57,4	6,7	44,4	64,1	205,0	57,4	88,7	130,3	135,6	85,9	1075,6	89,6	205,0	6,7
1979	43,4	220,0	114,6	201,0	344,5	31,0	129,1	241,1	150,4	360,6	114,0	246,0	2195,7	183,0	360,6	31,0
1980	116,6	80,5	207,2	46,8	161,4	43,7	129,3	88,0	98,6	192,2	102,6	174,4	1441,3	120,1	207,2	43,7
1981	108,5	202,4	75,3	203,8	12,3	106,0	10,8	78,9	119,2	149,4	268,2	214,0	1548,8	129,1	268,2	10,8
1982	108,8	161,3	60,4	35,0	93,4	186,5	201,6	132,0	74,1	229,5	326,4	131,6	1740,6	145,1	326,4	35,0
1983	161,7	265,0	196,1	284,6	333,6	213,1	659,8	83,0	183,0	137,6	151,3	136,4	2805,2	233,8	659,8	83,0
1984	182,2	98,8	199,5	110,5	104,4	187,6	58,0	239,5	114,4	101,8	255,8	136,5	1789,0	149,1	255,8	58,0
1985	32,4	307,1	95,7	110,4	103,6	23,8	94,0	158,2	96,8	106,0	99,0	88,1	1315,1	109,6	307,1	23,8
1986	238,0	176,0	115,3	351,6	261,4	39,4	79,7	156,0	234,4	133,9	168,1	98,2	2052,0	171,0	351,6	39,4
1987	210,4	210,3	31,2	195,6	301,9	206,8	124,8	76,5	43,5	247,3	148,0	108,1	1904,4	158,7	301,9	31,2
1988	213,3	228,6	43,0	216,8	440,8	74,7	11,4	21,8	30,4	303,0	115,4	139,0	1838,2	153,2	440,8	11,4
1989	239,2	250,1	166,7	122,4	93,2	121,4	125,0	157,2	270,8	237,0	157,6	98,8	2039,4	170,0	270,8	93,2
1990	187,9	89,9	85,8	287,1			118,0	116,6	287,4	212,8	184,6	210,8		178,1	287,4	85,8
1991	277,8	7,4	70,8	177,6	34,4	299,9	67,0	75,6	70,4	180,4	118,4	259,0	1638,7	136,6	299,9	7,4
1992	107,4	371,5	281,0	94,1	361,0	181,2	233,2	185,4	196,3	171,8	236,6	126,2	2545,7	212,1	371,5	94,1
1993	322,2	184,3	241,4	86,6	186,9	188,6	166,6	33,4	198,0	174,4	162,0	177,8	2122,2	176,9	322,2	33,4
1994	76,2	339,2	72,2	122,2	294,2	235,4	202,1	37,2	163,2	235,8	226,0	214,2	2217,9	184,8	339,2	37,2
1995	283,6	84,0	189,0	159,8	21,2	123,4	67,3	88,0	223,7	262,9	74,7	83,5	1661,1	138,4	283,6	21,2
1996	195,7	246,2	147,8	39,3	49,9	203,5	85,7	127,0	239,3	380,5	139,7	328,0	2182,6	181,9	380,5	39,3
1997	175,0	350,0	110,9	70,2	128,4	212,7	124,1	195,2	225,4	465,5	245,4	112,1	2414,9	201,2	465,5	70,2

Precipitação Total Mensal - E. F. Jardinópolis																
A\M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total	Méd	Máx	Mín
1998	186,9	379,1	303,0	381,3	103,6	55,7	134,5	292,1	226,6	270,0	30,6	179,5	2542,9	211,9	381,3	30,6
1999	381,0	181,3	75,1	230,2	45,8	159,6	148,3	24,8	94,7	207,2	41,5	132,8	1722,3	143,5	381,0	24,8
2000	163,3	136,5	129,5	111,6	125,8	85,5	107,1	104,1	221,6	289,4	171,7	166,1	1812,2	151,0	289,4	85,5
2001	167,1	247,8	148,6	207,8	154,8	149,8	110,9	61,8	166,5	200,8	222,6	37,1	1875,6	156,3	247,8	37,1
2002	129,0	62,9	112,5	47,8	245,3	182,0	86,4	158,2	200,1	363,6	225,0	201,2	2014,0	167,8	363,6	47,8
2003	154,0	272,9	197,6	97,7	62,6	58,2	75,0	58,2	82,6	198,9	248,2	406,5	1912,4	159,4	406,5	58,2
2004	184,1	67,7	71,5	172,3	162,9	40,3	169,5	46,9	136,5	285,2	264,7	73,0	1674,6	139,5	285,2	40,3
2005	196,7	37,3	47,2	233,2	248,6	293,1	108,3	110,8	192,9	303,7	68,7	75,9	1916,4	159,7	303,7	37,3
2006	182,9	100,9	152,9	110,7	8,8	67,8	27,6	109,2	124,0	179,1	246,3	219,1	1529,3	127,4	246,3	8,8
2007	134,0	207,4	178,3	284,3	293,9	27,5	187,3				340,2	214,4		207,5	340,2	27,5
2008	130,9	57,5	116,7	301,1	34,3	148,2	24,9	24,2	62,9	353,2	245,3	81,5	1580,7	131,7	353,2	24,2
2009	149,0		24,8	44,0	189,3	68,5	129,1	157,0		232,3				124,3	232,3	24,8
2010	237,5	143,4	259,3	296,9	163,3	57,5	153,4	44,5	92,7	186,0	85,7	433,2	2153,4	179,5	433,2	44,5
2011	282,7	373,1	235,8	117,5	56,3	292,0	234,3	224,8	187,0	217,1	108,7	55,1	2384,4	198,7	373,1	55,1
2012	69,5	150,3	91,9	188,8	69,0	133,1	186,4	4,0	81,1	251,8	127,6	282,6	1636,1	136,3	282,6	4,0
2013	105,1	190,4	424,2	162,8	120,7	242,4	100,1	186,6	175,2	199,7	143,9	185,5	2236,6	186,4	424,2	100,1
2014	167,3	144,0	194,7	124,3	228,9	403,7	95,1	45,9	407,4	86,6	214,8	225,7	2338,4	194,9	407,4	45,9
2015	0,0	131,2	62,5	38,4	247,5	164,2	392,6	63,8	215,5	258,5	252,4	325,4	2152,0	179,3	392,6	0,0
2016	108,9	183,6												146,3	183,6	108,9
Méd	170,2	184,1	144,0	155,7	158,8	143,7	139,0	112,2	156,4	229,5	176,9	170,0	1936,5	161,3	330,4	42,8
Máx	381,0	379,1	424,2	381,3	440,8	403,7	659,8	292,1	407,4	465,5	340,2	433,2	2805,2	233,8	659,8	108,9
Mín	0,0	7,4	24,8	6,7	8,8	23,8	10,8	4,0	30,4	86,6	30,6	37,1	1075,6	89,6	183,6	0,0

Sem dados

6.1.3.3 *Número de Dias de Chuva*

A análise da estação de Jardinópolis mostrou que ocorrem, em média, mais dias de chuva de outubro a março, corroborando com os totais mensais maiores neste período, porém como verificado no item 6.1.3.4, as maiores chuvas diárias tendem a ocorrer no período contrário, de abril a setembro, característico da região sul do Brasil.

O gráfico da Figura 5 demonstra a análise da estação quanto ao número de dias de chuva no período.

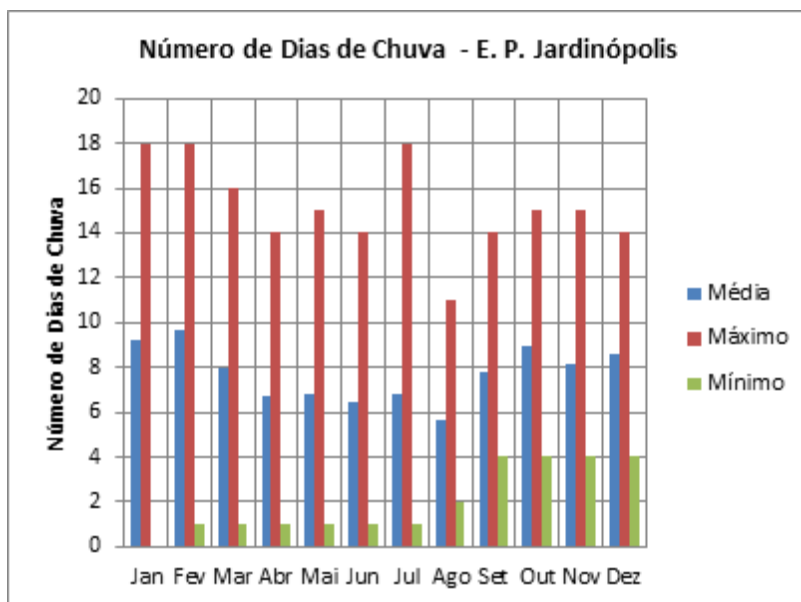


Figura 5. Número de Dias de Chuva - E. P. Jardinópolis

6.1.3.4 *Precipitações Máximas*

As precipitações máximas que ocorrem na estação estão de acordo com o esperado, em relação a análise climatológica do item 6.1.2, chegando ao máximo de 150,2 mm no ano de 2011 no mês de Junho, devido à frente polar característica do período de inverno.

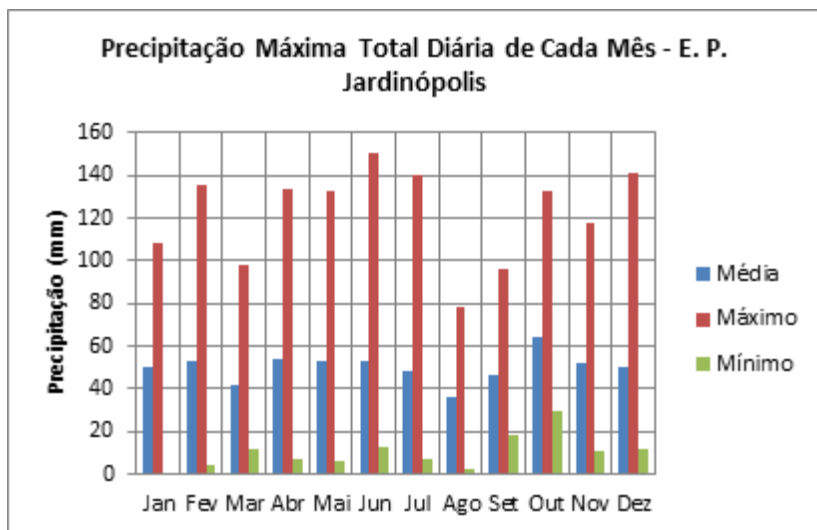


Figura 6. Precipitação Máxima Total Diária de Cada Mês - E. P. Jardinópolis

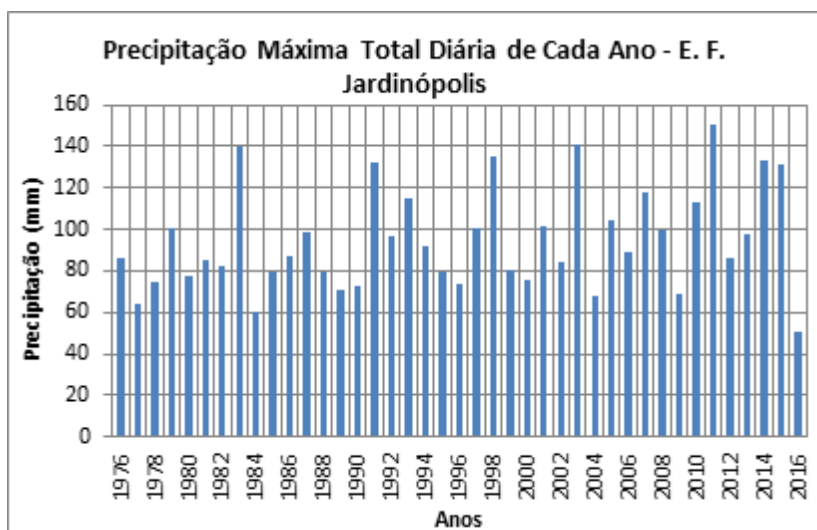


Figura 7. Precipitação Máxima Total Diária de Cada Ano - E. P. Jardinópolis

6.1.4 Fluviometria

As estações fluviométricas para estudo do comportamento do rio Pesqueiro foram selecionadas de acordo com sua localização e disponibilidade de dados de série histórica, apresentados no Quadro 5.

Quadro 5. Estações Fluviométricas

Estação	Código	Lat.	Long.	Área De Drenagem	Início	Final
Abelardo Luz	7360000	26°33'54	52°19'4	1840	ABR/53	FEV/
Jardinópolis	7378000	26°44'13	52°54'0	642	MAR/76	JAN/1
Passo Pio X	7382000	26°51'34	52°54'1	1012	MAI/60	FEV/
Saudades	7390000	26°55'36	53°00'2	418	ABR/53	FEV/
Ponte Do	7432000	26°40'56	53°17'1	608	AGO/65	FEV/

Jardinópolis, estação localizada no rio Pesqueiro e próxima ao empreendimento, com área de drenagem mais próxima da área de drenagem da PCH Rodeio, é definida como a estação principal dos estudos fluviométricos. A estação de Passo Pio X, encontra-se no rio Burro Branco, após a confluência deste rio com o rio Pesqueiro, e foi a estação principal de apoio. E, devido a boa correlação das vazões médias mensais com a estação principal, Jardinópolis, a estação Ponte do Sargento e Abelardo Luz foram utilizadas para o preenchimento de algumas poucas falhas na série de vazões finais.

6.1.4.1 Análise de Consistência

Foram analisadas as curvas de descarga de cada estação e seus ajustes aos dados históricos de medição de campo. Levou-se em consideração qualquer mudança, como alteração nos locais das réguas de medição e depósito e carregamento de sedimentos no fundo da seção que pudessem acarretar em divergências na relação Cota VS Vazão.

A estação de Abelardo Luz apresenta duas curvas de descarga, de acordo com os dados disponibilizados pela ANA, porém é perceptível que os dados seguem uma tendência. Para a estação foram efetuadas as extrapolações explicadas no item 5.1.4. Os resultados demonstraram que a equação da ANA está bem ajustada, demonstrado pelo bom ajuste aos dados de medição de campo e por isso foi mantida para os cálculos.

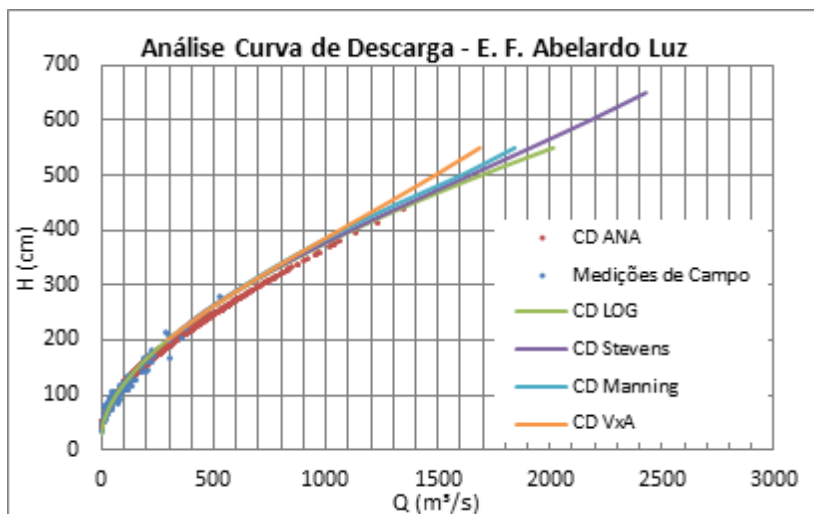


Figura 8. Análise da Curva de Descarga - E. F. Abelardo Luz

Quanto a estação de Ponte do Sargento, a ANA determinou diversas curvas de descarga próximas umas das outras. Essas curvas, apesar de próximas, não demonstram um padrão de comportamento de mudança, e é perceptível o melhor ajuste aos dados de medição de campo para todo o período. Dessa forma, foram feitas as extrapolações dos dados de medição e a curva de melhor ajuste foi uma combinação de métodos.

A estação da Ponte do Sargento então apresentou uma curva de descarga em que a extrapolação mínima é Logarítmica e a máxima é pelo método de Manning.

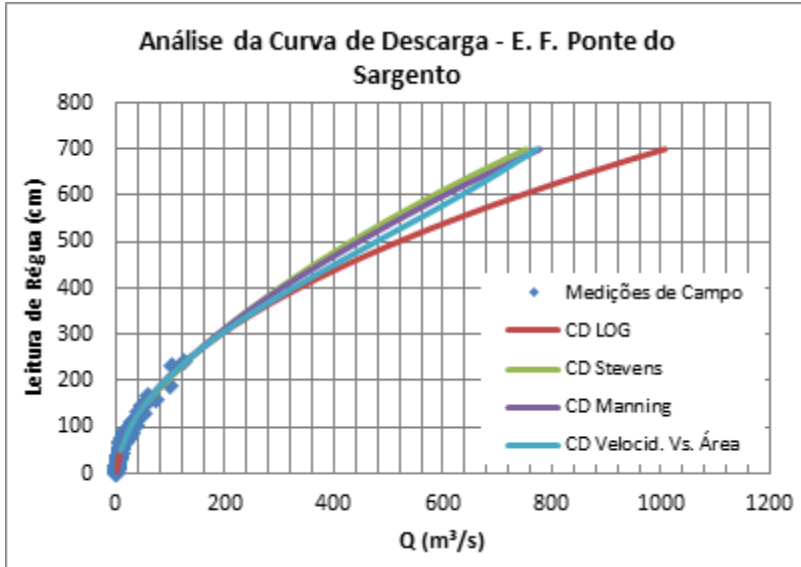


Figura 9. Análise da Curva de Descarga - E. F. Ponte do Sargento

Até a cota de 250 cm:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0,001364 * (H + 22,3804)^{2,052644}$$

Equação 38

A partir disso:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 11,364 * H^2 + 35,115 * H - 19,882$$

Equação 39

A estação fluviométrica principal, Jardinópolis, possui curva de descarga da ANA bem ajustada aos dados de campo para todo o período da série histórica, dessa forma, mesmo com a análise de extrapolação dos dados de medição pelos quatro diferentes métodos, a curva da ANA prevaleceu como a de melhor ajuste.

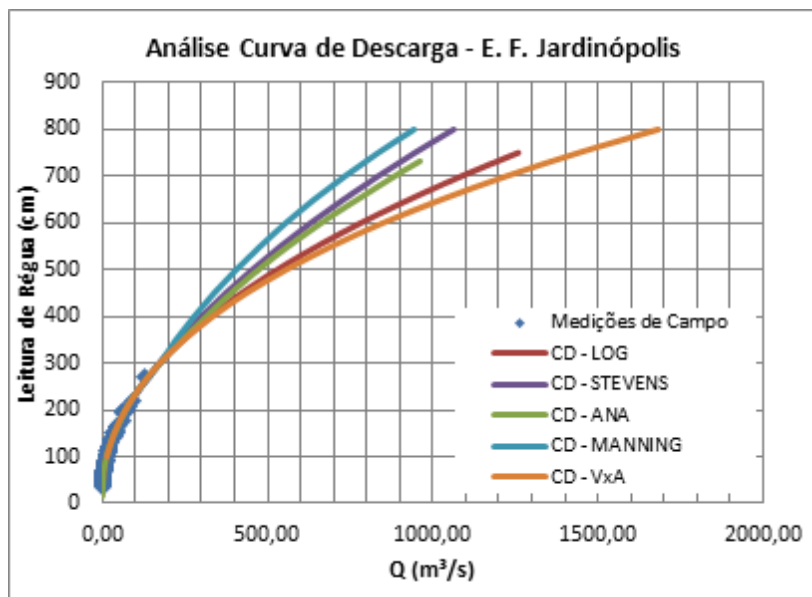


Figura 10. Análise Curva de Descarga - E. F. Jardinópolis

A análise da estação fluviométrica Passo Pio X teve que ser dividida em dois períodos, os dados até 1995 e após 1995, pois a ANA apresentou três curvas de descarga para a estação, contudo, as duas curvas definidas até 1995 são muito próximas.

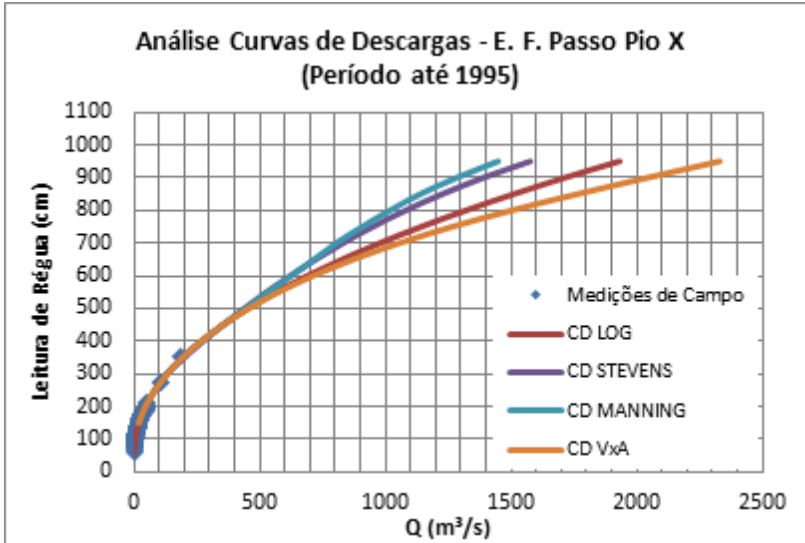


Figura 11. Análise Curvas de Descargas - E. F. Passo Pio X (Período até 1995)

Então, para o período que antecede o ano de 1995 a equação é uma combinação de equação Logarítmica e de Stevens, para as extrapolações mínimas e máximas, respectivamente:

Até a cota de 275 cm:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0,00138 * (H - 53,98)^{2,08164}$$

Equação 40

Após:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0,00206 * H^2 - 0,42215 * H + 116,7420$$

Equação 41

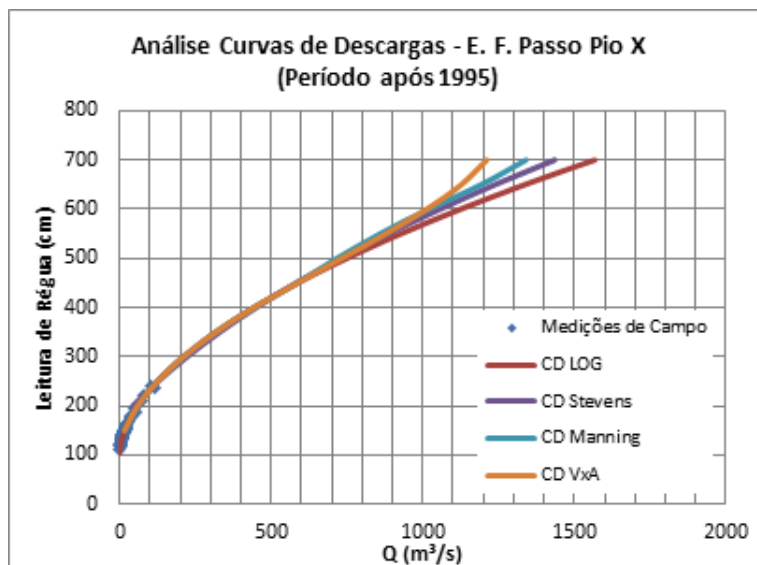


Figura 12. Análise Curvas de Descargas - E. F. Passo Pio X (Período após 1995)

Para o período a partir de 1995 a equação da curva de descarga também é uma combinação de extrapolações pelos métodos Logarítmica e Stevens:

Até a cota de 250cm:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0,0142 * (H - 101,96)^{1,81559}$$

Equação 42

A partir:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0,002517 * H^2 + 0,51614 * H - 159,76626$$

Equação 43

A estação Saudades apresentou diversas curvas de descarga definidas pela ANA, e a partir das suas correlações com os dados de medição de campo, foram distinguidos três diferentes períodos, com uma curva a partir do início das medições até 1960, outra entre os anos de 1970 e 2001 e a última de 2001 até os últimos dados analisados em 2016.

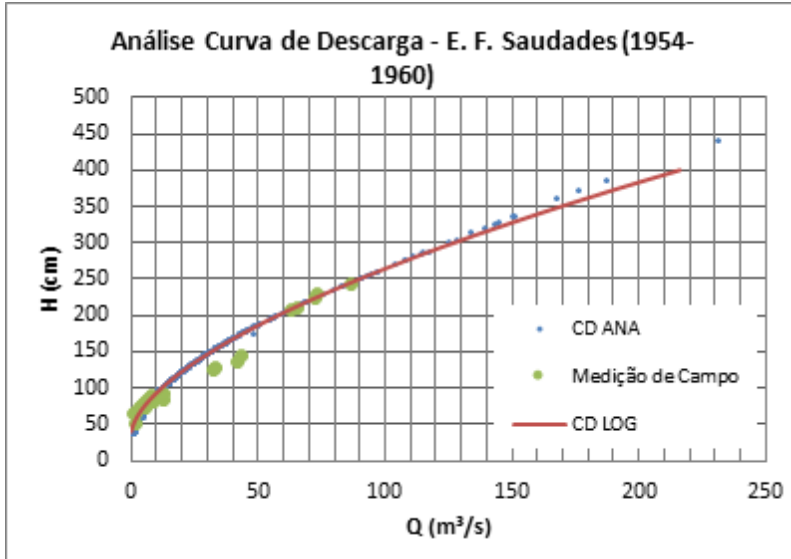


Figura 13 Análise Curva de Descarga - E. F. Saudades (1954-1960)

O primeiro período de análise desta estação, até 1960, ficou definido pela curva logarítmica, que apresentou um ajuste adequado aos dados de medição de campo. Nesse momento a estação ainda não contava com dados de medição do perfil transversal, o que impossibilitou uma análise de extrapolação utilizando os demais métodos citados neste trabalho, como sendo a forma ideal. A curva-chave ficou definida por:

$$Q \text{ (} m^3/s \text{)} = 0,01369 * (H - 38,1426)^{1,64094}$$

Equação 44

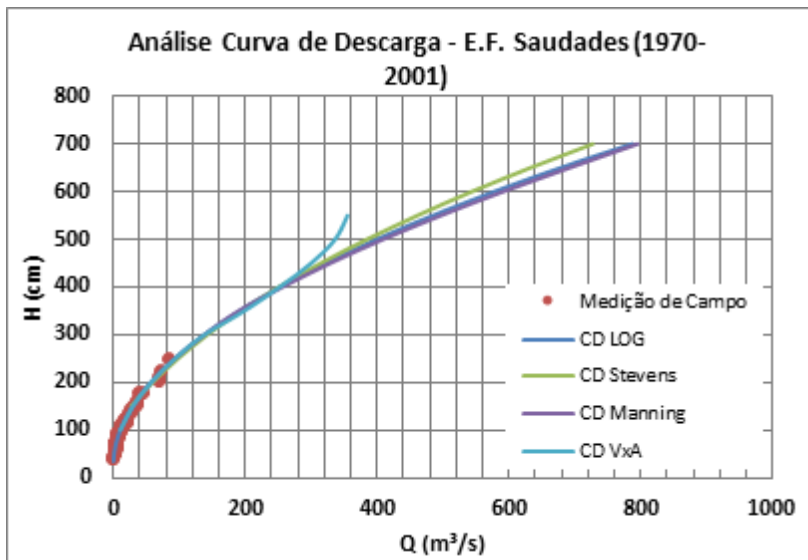


Figura 14. Análise Curva de Descarga - E.F. Saudades (1970-2001)

A equação da curva de descarga para o segundo período, de 1970 à 2001, que melhor se ajustou para a extrapolações inferiores foi a curva logarítmica até a cota 195 cm, enquanto que para as extrapolações superiores foi a de Stevens a 195 cm, sendo assim:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0,00309 * (H - 30,6291)^{1,91325}$$

Equação 45

Após:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0,001258 * H^2 + 0,20410 * H - 32,13649$$

Equação 46

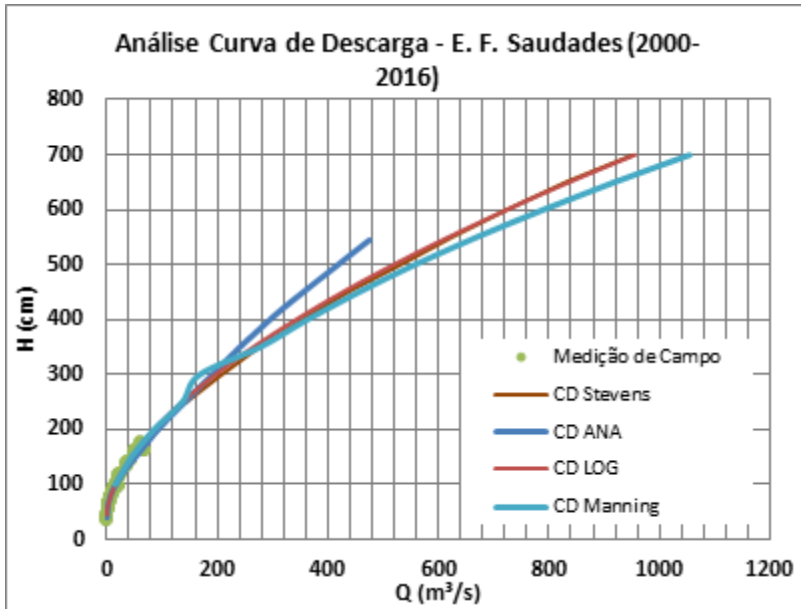


Figura 15. Análise Curva de Descarga - E. F. Saudades (2000-2016)

E, finalmente, para o último período da análise, dos anos de 2001 até 2016, o método de extrapolação que melhor se ajustou aos dados de medição de campo e representou a tendência das séries de vazão e cota foram a Logarítmica até a cota de 200 cm e de Stevens desse ponto em diante, demonstradas, respectivamente, pelas Equação 47 e Equação 48.

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)} = 0,01743 * (H - 43,7591)^{1,68217}$$

Equação 47

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)} = 0,001219 * H^2 + 0,635309 * H - 94,67415$$

Equação 48

6.1.4.2 Vazões Médias Mensais

As vazões médias mensais da PCH Lambari foram definidas através da relação de área com os dados de vazão mensais calculados para a estação de Jardinópolis.

As correlações feitas entre as estações de estudo e a estação principal para o preenchimento de falhas da estação Jardinópolis são apresentados no Apêndice 9.3.1, na qual percebe-se que a estação de Ponte do Sargento

tem a melhor correlação, com o R mais próximo de 1. Em sequência, as estações Passo Pio X, Saudades e Abelardo Luz completaram o preenchimento das falhas de acordo com suas séries de dados disponíveis.

No Quadro 6 são apresentadas as vazões médias mensais de Jardinópolis, na qual as correlações estão destacadas de acordo com a estação utilizada, sendo as células destacadas em laranja aquelas que apresentam correlação com os dados de Saudades, células em azul com a estação Abelardo Luz, as células em verde estão correlacionadas à estação Passo Pio X e, finalmente, as células vermelhas são correlações feitas com a estação Ponte do Sargento.

Em seguida, no Quadro 7 são apresentadas as vazões médias mensais da PCH Lambari, calculados diretamente de acordo com as vazões da estação principal, Jardinópolis.

A vazão média de longo termo calculada para a PCH Lambari é 20,6 m³/s e vazão específica de 30,9 l/s/km², valor de vazão específica semelhante ao comportamento nas estações de base para o estudo.

Quadro 6. Vazões Médias Mensais - E. F. Jardinópolis

Vazões Médias Mensais em Jardinópolis															
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1960	10,9	4,7	3,0	3,3	4,9	10,7	1,7	21,2	26,5	30,6	16,3	4,5	11,5	30,6	1,7
1961	2,6	2,6	37,2	9,1	7,5	4,3	1,6	3,0	47,9	43,9	12,9	7,0	15,0	47,9	1,6
1962	2,2	14,0	3,4	2,0	14,9	4,2	5,9	3,5	19,1	22,0	6,0	1,8	8,2	22,0	1,8
1963	1,1	9,2	16,4	5,1	19,0	3,1	1,4	2,9	6,6	52,9	54,1	12,0	15,3	54,1	1,1
1964	1,3	4,1	1,9	8,4	7,5	2,0	5,7	15,1	8,9	14,3	2,0	6,5	6,5	15,1	1,3
1965	7,0	5,5	3,7	5,0	22,1	7,7	21,3	38,3	49,7	61,9	18,9	61,0	25,2	61,9	3,7
1966	21,4	57,4	16,5	9,2	3,4	18,6	12,5	19,1	34,9	56,6	10,2	13,9	22,8	57,4	3,4
1967	12,6	15,6	27,4	6,6	2,6	3,1	7,0	27,7	18,1	14,3	17,5	7,8	13,4	27,7	2,6
1968	2,8	3,2	8,6	13,5	6,0	3,8	5,8	1,9	4,7	13,5	8,9	22,0	7,9	22,0	1,9
1969	53,3	11,1	14,1	19,6	19,7	34,5	12,3	6,6	16,9	20,9	49,0	3,8	21,8	53,3	3,8
1970	4,0	2,7	3,1	2,1	8,0	23,7	31,9	8,8	27,7	49,1	10,7	30,9	16,9	49,1	2,1
1971	31,7	11,5	17,5	39,4	42,0	43,1	29,9	30,7	7,6	14,7	3,4	1,5	22,8	43,1	1,5
1972	6,4	9,1	22,8	30,5	3,7	51,3	17,0	72,6	58,3	21,4	28,2	16,2	28,1	72,6	3,7
1973	38,5	23,3	8,8	8,6	40,0	31,6	26,7	56,1	52,2	30,0	15,5	6,9	28,2	56,1	6,9
1974	20,0	5,9	7,8	17,3	17,6	29,4	7,2	12,6	16,4	10,7	33,6	14,7	16,1	33,6	5,9
1975	25,8	23,2	11,6	7,9	6,2	17,0	8,8	28,4	35,1	60,0	16,5	34,2	22,9	60,0	6,2
1976	26,2	10,7	2,9	6,1	28,7	15,9	12,2	24,6	9,1	23,3	22,1	5,5	15,6	28,7	2,9
1977	5,2	14,2	7,0	3,5	0,7	19,0	4,5	10,8	8,9	15,4	16,1	11,2	9,7	19,0	0,7
1978	7,8	1,2	0,7	0,3	0,3	1,1	23,7	7,6	15,9	2,2	12,5	3,1	6,4	23,7	0,3
1979	4,3	1,8	2,4	11,8	80,9	6,2	13,8	39,3	13,3	86,0	24,6	20,6	25,4	86,0	1,8
1980	9,2	4,3	13,0	2,5	12,2	5,1	14,0	18,3	10,1	18,6	9,5	21,2	11,5	21,2	2,5
1981	5,3	6,5	7,0	17,7	3,7	7,9	1,6	1,2	4,3	16,2	21,2	37,7	10,9	37,7	1,2

Vazões Médias Mensais em Jardinópolis															
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1982	3,3	6,5	1,6	0,6	7,3	33,2	41,3	4,6	6,2	41,9	83,5	16,7	20,6	83,5	0,6
1983	7,2	23,2	46,8	45,0	115,3	49,2	178,5	25,3	41,0	16,8	13,2	3,0	47,0	178,5	3,0
1984	4,3	3,1	2,9	6,0	9,7	33,9	11,3	37,6	21,9	8,2	27,3	3,1	14,1	37,6	2,9
1985	1,8	17,7	1,9	12,2	8,4	4,6	6,4	6,4	11,3	7,9	19,8	0,9	8,3	19,8	0,9
1986	11,4	18,8	11,1	36,9	55,2	9,7	4,1	19,6	28,7	15,3	3,9	2,4	18,1	55,2	2,4
1987	7,3	9,0	0,8	28,1	79,3	22,9	16,4	9,4	1,6	27,0	17,9	9,6	19,1	79,3	0,8
1988	3,7	1,8	1,2	11,8	85,8	26,8	3,0	0,8	0,6	11,0	10,4	1,5	13,2	85,8	0,6
1989	26,8	30,6	6,7	14,9	22,1	9,9	14,6	22,6	74,8	23,5	5,4	3,6	21,3	74,8	3,6
1990	56,5	4,1	2,4	92,3	26,4	77,8	19,5	45,3	50,2	26,5	12,1	22,4	36,3	92,3	2,4
1991	10,9	3,9	0,6	8,2	3,3	54,9	8,0	6,3	4,7	26,4	7,7	8,1	11,9	54,9	0,6
1992	2,6	36,4	46,6	11,5	72,0	45,9	49,4	20,1	30,0	15,1	33,0	16,0	31,6	72,0	2,6
1993	20,1	24,4	10,5	4,7	25,5	34,8	19,0	5,5	23,5	44,3	11,1	14,0	19,8	44,3	4,7
1994	0,9	35,8	4,9	3,7	33,4	41,1	39,9	4,4	16,5	20,7	49,8	12,1	21,9	49,8	0,9
1995	47,1	6,5	12,8	23,6	2,3	10,7	8,8	4,8	41,1	38,9	3,4	1,2	16,8	47,1	1,2
1996	13,9	40,2	18,3	8,6	1,0	31,3	25,0	9,6	44,1	79,7	19,3	28,5	26,6	79,7	1,0
1997	13,1	79,0	5,3	1,6	13,4	43,6	35,7	28,8	24,5	119,4	65,4	7,1	36,4	119,4	1,6
1998	16,8	85,0	36,2	92,3	24,6	7,9	14,8	68,5	50,6	62,0	6,0	10,8	39,6	92,3	6,0
1999	23,4	19,9	3,7	17,2	3,0	26,4	37,8	1,8	3,2	26,6	1,6	3,2	14,0	37,8	1,6
2000	4,5	5,0	15,9	4,7	14,7	6,4	17,5	10,0	43,8	55,9	13,8	6,1	16,5	55,9	4,5
2001	11,4	50,1	14,9	24,6	22,8	24,4	16,9	4,8	12,7	63,6	7,9	5,2	21,6	63,6	4,8
2002	5,4	4,2	2,4	1,0	32,2	29,4	6,3	22,0	35,9	65,2	31,7	33,2	22,4	65,2	1,0
2003	5,2	29,6	22,6	5,9	3,4	7,0	7,0	1,6	5,7	26,0	46,4	98,2	21,5	98,2	1,6
2004	11,7	2,9	0,9	4,1	21,4	10,1	22,2	2,5	12,3	47,9	41,2	3,8	15,1	47,9	0,9

Vazões Médias Mensais em Jardinópolis															
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
2005	6,4	0,7	0,6	12,2	33,4	63,6	13,5	5,6	44,6	81,8	5,0	1,3	22,4	81,8	0,6
2006	4,3	1,9	6,4	7,4	1,0	0,9	2,1	7,4	10,2	9,6	17,4	14,0	6,9	17,4	0,9
2007	5,7	6,8	16,7	54,0	64,6	3,1	20,2	10,7	15,0	33,3	61,3	8,8	25,0	64,6	3,1
2008	8,3	3,4	3,5	38,9	12,2	19,1	4,6	18,9	9,3	64,6	31,9	1,6	18,0	64,6	1,6
2009	11,4	1,8	4,4	1,0	19,0	18,7	23,3	40,4	54,9	50,6	22,3	9,9	21,5	54,9	1,0
2010	24,2	3,9	26,6	59,9	50,9	12,5	18,9	6,8	2,2	13,1	4,7	52,8	23,1	59,9	2,2
2011	22,7	35,5	26,3	24,9	3,8	41,7	50,3	36,7	41,1	24,5	11,8	3,6	26,9	50,3	3,6
2012	1,4	0,9	1,2	11,6	5,6	20,2	17,8	6,7	1,4	34,4	7,5	24,1	11,1	34,4	0,9
2013	35,3	10,9	59,8	23,7	16,4	52,2	11,9	29,1	25,7	23,6	10,7	27,8	27,3	59,8	10,7
2014	17,6	1,4	12,7	14,0	37,3	82,7	21,1	4,1	66,7	24,3	13,5	4,3	25,0	82,7	1,4
2015	47,8	5,3	4,0	2,6	23,3	33,9	72,2	4,7	22,6	31,8	42,6	57,5	29,0	72,2	2,6
2016	12,0	42,3											27,1	42,3	12,0
Méd	14,1	15,7	12,0	16,8	23,2	23,8	20,1	17,6	24,5	34,6	20,9	15,4	20,0	56,9	2,6
Máx	56,5	85,0	59,8	92,3	115,3	82,7	178,5	72,6	74,8	119,4	83,5	98,2	47,0	178,5	12,0
Mín	0,9	0,7	0,6	0,3	0,3	0,9	1,4	0,8	0,6	2,2	1,6	0,9	6,4	15,1	0,3

Correlação com
Saudades

Correlação com
Abelardo Luz

Correlação com
Passo Pio X

Correlação com
Ponte do Sargento

Quadro 7. Vazões Médias Mensais PCH Lambari

Vazões Médias Mensais em PCH Lambari															
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1960	11,3	4,9	3,1	3,4	5,1	11,1	1,8	22,0	27,5	31,8	16,9	4,6	11,9	31,8	1,8
1961	2,7	2,7	38,6	9,4	7,7	4,5	1,6	3,2	49,7	45,5	13,4	7,2	15,5	49,7	1,6
1962	2,3	14,5	3,5	2,1	15,4	4,3	6,1	3,7	19,8	22,8	6,3	1,9	8,6	22,8	1,9
1963	1,2	9,5	17,0	5,3	19,7	3,2	1,5	3,0	6,8	54,9	56,1	12,4	15,9	56,1	1,2
1964	1,3	4,3	1,9	8,7	7,8	2,1	5,9	15,7	9,3	14,8	2,0	6,8	6,7	15,7	1,3
1965	7,2	5,7	3,9	5,2	23,0	8,0	22,1	39,7	51,6	64,2	19,6	63,3	26,1	64,2	3,9
1966	22,2	59,5	17,2	9,6	3,6	19,3	12,9	19,9	36,3	58,7	10,6	14,4	23,7	59,5	3,6
1967	13,1	16,1	28,4	6,9	2,7	3,2	7,3	28,8	18,7	14,8	18,2	8,1	13,9	28,8	2,7
1968	2,9	3,3	9,0	14,0	6,2	4,0	6,0	2,0	4,9	14,0	9,3	22,8	8,2	22,8	2,0
1969	55,3	11,5	14,7	20,3	20,4	35,8	12,8	6,9	17,5	21,7	50,8	3,9	22,6	55,3	3,9
1970	4,1	2,8	3,3	2,2	8,3	24,6	33,1	9,2	28,7	50,9	11,1	32,0	17,5	50,9	2,2
1971	32,9	12,0	18,1	40,9	43,5	44,7	31,0	31,9	7,9	15,2	3,5	1,5	23,6	44,7	1,5
1972	6,6	9,5	23,7	31,6	3,8	53,2	17,7	75,3	60,5	22,2	29,3	16,8	29,2	75,3	3,8
1973	39,9	24,1	9,2	9,0	41,5	32,8	27,7	58,2	54,2	31,2	16,1	7,1	29,2	58,2	7,1
1974	20,7	6,2	8,1	18,0	18,3	30,5	7,5	13,1	17,0	11,1	34,9	15,2	16,7	34,9	6,2
1975	26,8	24,1	12,0	8,1	6,5	17,6	9,2	29,5	36,4	62,3	17,1	35,5	23,8	62,3	6,5
1976	27,1	11,1	3,0	6,3	29,8	16,5	12,7	25,5	9,5	24,1	22,9	5,7	16,2	29,8	3,0
1977	5,4	14,7	7,2	3,6	0,7	19,7	4,6	11,2	9,3	16,0	16,7	11,6	10,1	19,7	0,7
1978	8,1	1,2	0,7	0,3	0,3	1,1	24,6	7,9	16,5	2,3	12,9	3,2	6,6	24,6	0,3
1979	4,5	1,9	2,5	12,3	84,0	6,4	14,3	40,8	13,8	89,2	25,5	21,4	26,4	89,2	1,9
1980	9,6	4,5	13,5	2,6	12,6	5,3	14,5	19,0	10,5	19,3	9,9	22,0	11,9	22,0	2,6
1981	5,5	6,7	7,3	18,4	3,9	8,2	1,6	1,2	4,4	16,8	22,0	39,1	11,3	39,1	1,2

Vazões Médias Mensais em PCH Lambari															
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1982	3,5	6,8	1,6	0,7	7,5	34,5	42,8	4,8	6,5	43,4	86,6	17,4	21,3	86,6	0,7
1983	7,4	24,0	48,6	46,7	119,6	51,0	185,2	26,3	42,5	17,4	13,7	3,1	48,8	185,2	3,1
1984	4,4	3,3	3,0	6,2	10,0	35,1	11,7	39,1	22,7	8,5	28,3	3,2	14,6	39,1	3,0
1985	1,8	18,4	2,0	12,6	8,7	4,8	6,7	6,7	11,8	8,2	20,6	1,0	8,6	20,6	1,0
1986	11,9	19,5	11,5	38,3	57,3	10,1	4,2	20,3	29,7	15,8	4,0	2,5	18,8	57,3	2,5
1987	7,5	9,3	0,8	29,1	82,2	23,7	17,0	9,7	1,7	28,0	18,6	9,9	19,8	82,2	0,8
1988	3,8	1,9	1,2	12,2	89,0	27,8	3,2	0,8	0,7	11,5	10,8	1,6	13,7	89,0	0,7
1989	27,8	31,7	7,0	15,4	22,9	10,2	15,1	23,4	77,6	24,3	5,6	3,7	22,1	77,6	3,7
1990	58,7	4,2	2,5	95,7	27,4	80,7	20,2	47,0	52,1	27,5	12,5	23,2	37,6	95,7	2,5
1991	11,4	4,0	0,7	8,5	3,5	56,9	8,3	6,6	4,8	27,4	7,9	8,4	12,4	56,9	0,7
1992	2,7	37,8	48,4	11,9	74,7	47,6	51,2	20,8	31,1	15,7	34,2	16,6	32,7	74,7	2,7
1993	20,9	25,4	10,9	4,9	26,4	36,1	19,7	5,7	24,4	45,9	11,5	14,5	20,5	45,9	4,9
1994	0,9	37,2	5,0	3,9	34,6	42,6	41,4	4,5	17,2	21,5	51,7	12,6	22,8	51,7	0,9
1995	48,8	6,7	13,2	24,5	2,4	11,1	9,1	5,0	42,7	40,4	3,6	1,2	17,4	48,8	1,2
1996	14,4	41,7	19,0	9,0	1,1	32,4	25,9	9,9	45,7	82,7	20,1	29,6	27,6	82,7	1,1
1997	13,6	81,9	5,5	1,7	13,9	45,2	37,0	29,8	25,4	123,8	67,8	7,3	37,8	123,8	1,7
1998	17,4	88,2	37,5	95,7	25,5	8,2	15,4	71,1	52,5	64,3	6,2	11,2	41,1	95,7	6,2
1999	24,3	20,7	3,8	17,9	3,1	27,4	39,3	1,8	3,3	27,6	1,7	3,4	14,5	39,3	1,7
2000	4,7	5,2	16,5	4,8	15,3	6,7	18,1	10,3	45,4	58,0	14,3	6,3	17,1	58,0	4,7
2001	11,9	51,9	15,5	25,5	23,6	25,3	17,5	5,0	13,2	66,0	8,2	5,4	22,4	66,0	5,0
2002	5,6	4,4	2,5	1,0	33,4	30,5	6,5	22,9	37,3	67,7	32,9	34,4	23,2	67,7	1,0
2003	5,4	30,7	23,4	6,1	3,5	7,3	7,3	1,7	5,9	27,0	48,1	101,8	22,4	101,8	1,7
2004	12,1	3,0	0,9	4,2	22,2	10,5	23,0	2,6	12,8	49,7	42,7	4,0	15,6	49,7	0,9

Vazões Médias Mensais em PCH Lambari															
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
2005	6,7	0,8	0,6	12,6	34,7	66,0	14,0	5,8	46,3	84,9	5,2	1,4	23,2	84,9	0,6
2006	4,4	1,9	6,6	7,7	1,0	0,9	2,2	7,6	10,6	10,0	18,0	14,5	7,1	18,0	0,9
2007	6,0	7,0	17,4	56,1	67,1	3,3	20,9	11,1	15,5	34,5	63,6	9,2	26,0	67,1	3,3
2008	8,6	3,5	3,7	40,4	12,7	19,8	4,8	19,6	9,7	67,0	33,1	1,6	18,7	67,0	1,6
2009	11,8	1,9	4,6	1,0	19,7	19,4	24,1	42,0	57,0	52,5	23,1	10,2	22,3	57,0	1,0
2010	25,2	4,1	27,6	62,1	52,8	13,0	19,6	7,1	2,3	13,6	4,9	54,8	23,9	62,1	2,3
2011	23,5	36,9	27,3	25,9	3,9	43,3	52,2	38,1	42,6	25,4	12,3	3,7	27,9	52,2	3,7
2012	1,4	0,9	1,2	12,0	5,8	20,9	18,5	7,0	1,5	35,7	7,8	25,0	11,5	35,7	0,9
2013	36,7	11,3	62,0	24,6	17,0	54,2	12,4	30,2	26,7	24,5	11,1	28,8	28,3	62,0	11,1
2014	18,2	1,4	13,1	14,5	38,7	85,8	21,9	4,3	69,2	25,2	14,0	4,4	25,9	85,8	1,4
2015	49,6	5,5	4,2	2,7	24,2	35,2	74,9	4,9	23,4	33,0	44,1	59,7	30,1	74,9	2,7
2016	12,4	43,9											28,1	43,9	12,4
Méd	14,7	16,3	12,4	17,4	24,1	24,7	20,9	18,2	25,4	35,9	21,7	15,9	20,6	59,0	2,7
Máx	58,7	88,2	62,0	95,7	119,6	85,8	185,2	75,3	77,6	123,8	86,6	101,8	48,8	185,2	12,4
Mín	0,9	0,8	0,6	0,3	0,3	0,9	1,5	0,8	0,7	2,3	1,7	1,0	6,6	15,7	0,3

6.1.4.3 Curva de Permanência

Com base na série de vazões médias mensais definidas para o local do empreendimento, foi possível definir a sua curva de permanência, que irão subsidiar os cálculos energéticos do trabalho.

Na Figura 16, a curva de permanência mensal da PCH Lambari aponta que a vazão de permanência de 98% do tempo é igual a 0,94 m³/s.

O detalhe sobre a curva de permanência é seu comportamento acentuado, que demonstra que a vazão varia de forma significativa a cada tempo de permanência.

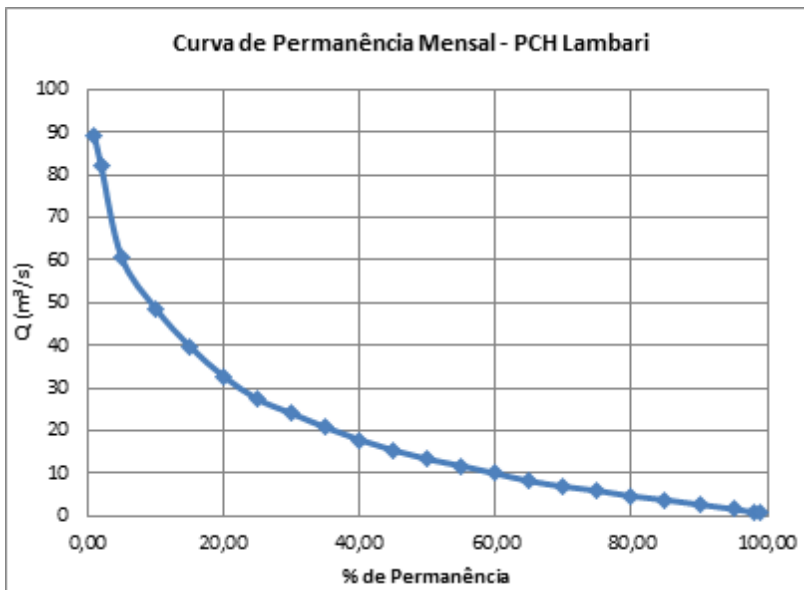


Figura 16. Curva de permanência de vazão média mensal - PCH Lambari

6.1.4.4 Vazões Máximas

As vazões de enchentes foram calculadas para o local da PCH Lambari por relação direta de área de drenagem com a estação principal, Jardinópolis, através dos cálculos realizados de acordo com a curva de frequência de cheias.

A Figura 17 apresenta as vazões médias diárias e os picos de cheias para os períodos anuais e secos da PCH Lambari, em diferentes Tempos de Retorno. Pode-se observar pelo gráfico que em um tempo de retorno

de 10 anos a vazão de pico anual é de 994,89 m³/s, enquanto que para o mesmo tempo de retorno no período seco a vazão é de 779,62 m³/s.

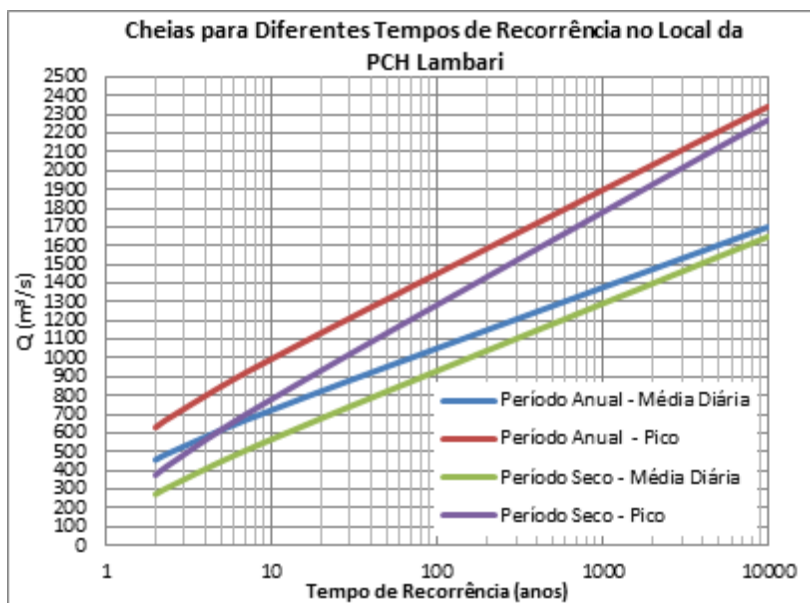


Figura 17. Curvas de frequência de cheias - PCH Lambari

6.1.4.5 Vazões Mínimas

A obtenção das vazões mínimas, também por relação de área de drenagem da estação Jardimópolis para a PCH Lambari, determinou a melhor distribuição que se ajustou aos valores históricos (dados que podem ser observados no Apêndice 9.3.3), como a distribuição de Weibull. O Quadro 8 mostra o resultado dos cálculos.

Quadro 8. Vazões mínimas

Parâmetros de Q (m ³ /s)	E. F. Jardimópolis	PCH Lambari
10% QMLT	2,05	2,13
Q mínima média mensal	0,26	0,27
80% Q mínima média mensal	0,21	0,22
50% Q98%, mensal	0,44	0,46
Q7,10 Cunnane	0,37	0,39
Q7,10 Gumbel	0,30	0,31
Q7,10 Weibull	0,34	0,36

6.2 CÁLCULOS ENERGÉTICOS

6.2.1 Apresentação da PCH Lambari

Segundo o que apresenta o projeto básico realizado pela empresa Estelar Engenheiros Associados LTDA. para o empreendimento da Mauê, a PCH Lambari está localizada no município de União do Oeste, no estado de Santa Catarina, no rio Pesqueiro. Aproveita um desnível de 19,65 m brutos no local entre o barramento e a casa de força.

O empreendimento é composto de barragem de enrocamento na margem esquerda, apoiada em muro ala de concreto-massa, vertedouro em concreto-massa com soleira livre no leito do rio, barragem de enrocamento na margem direita, também apoiada em muro ala em concreto-massa, adufa e vãos livres para o desvio do rio, e tomada d'água a 75,00 m a montante do barramento.

A adução foi considerada em túnel de adução e condutos forçados desde a tomada d'água até a casa de força.

O túnel de adução possui 191,45m de comprimento com seção arco-retângulo de 4,50m de base e 4,50m de altura, sendo 184,85 m em baixa pressão, 2,00 m de transição para o trecho blindado, e 4,60 m em alta pressão, onde é implantado o primeiro trecho do conduto forçado em concreto com revestimento metálico, em seção circular com diâmetro de 3,10 m.

Ao sair do túnel, o conduto forçado segue a céu aberto até a casa de força. Neste trecho, ocorre a bifurcação do conduto para as unidades geradoras 1 e 2. O diâmetro em cada trecho é reduzido para 2,20 m, seguindo até a válvula borboleta de cada unidade. O comprimento desde a saída do túnel até cada unidade geradora é de 15,00 m.

A casa de força da PCH Lambari foi projetada para abrigar duas unidades geradoras do tipo Francis dupla de eixo horizontal, com 2.000 MW instalados cada, a casa de força será do tipo abrigada. A vazão turbinada para cada unidade é de 12,42 m³/s, para uma queda líquida de 18,94 m. Possui largura total (na direção do fluxo) de 11,00 m e comprimento total (transversal ao fluxo), incluindo a área de montagem, de 38,00 m.

O nível de água do rio junto à casa de força, para a cheia com tempo de recorrência de 1.000 anos, atinge a elevação 341,35 m.

O acesso principal à casa de força está localizado na margem direita do rio Pesqueiro.

A conexão da PCH Lambari ao Sistema Interligado Nacional (SIN) está prevista na barra de 23 kV da subestação Pinhalzinho (SE

Pinhalzinho) de propriedade da Celesc Distribuição. A interligação da PCH Lambari à SE Pinhalzinho será por meio de uma Linha de Transmissão em 23 kV, circuito simples, cabo 477,0 MCM, com extensão de 14 km.

6.2.2 Descrição dos Cálculos Energéticos

Os cálculos energéticos foram desenvolvidos de acordo com a série de vazões, analisando: (i) a série de vazões médias mensais do projeto básico da PCH Lambari; (ii) a nova série de vazões médias mensais com período restrito ao mesmo apresentado no projeto básico (1960 à 2005); (iii) a nova série de vazões mensais abrangendo todo o período de dados (1960 à 2016); (iv) a série então restrita ao período de dados da série de vazões diárias; e, (v) a série atualizada de vazões médias diárias que tem seu período entre 1975 à 2016.

A série de vazões médias diárias foi calculada por relação direta de área de drenagem com a estação Jardimópolis. A razão pela qual o período de abrangência da nova série de vazões médias diárias limitou-se à março de 1976 até janeiro de 2016 foi por ser o período com maior consistência de dados e preenchimento de falhas com a melhor correlação de dados disponíveis.

A partir da série histórica hidrológica definida para a PCH Lambari de vazões médias mensais e diárias, com a variação do nível de água do canal de fuga, é possível determinar a queda líquida do sistema, que determina o quanto de vazão será turbinada e sua respectiva perda de carga, de acordo com as características do circuito de geração, e assim, a energia gerada para cada intervalo de tempo definido para a PCH. O Quadro 9 conta com parâmetros de projeto determinados no projeto básico quanto ao tipo e rendimento de turbina, número de máquinas de acordo com a potência instalada. Também são apresentados os fatores trabalhados no item 5.1.4, para fins de comparação, como a vazão sanitária e de uso consuntivo.

Com a energia média, é determinada a energia assegurada e garantia física, como descrito no item 4.3, pelos descontos da indisponibilidade forçada e programada, perdas elétricas até o ponto de conexão e consumo interno. Cabe lembrar que no cálculo da garantia física aos níveis de montante e jusante são fixos, assim como o rendimento do conjunto turbina/gerador.

Dessa forma, os dados em destaque são aqueles que foram modificados de acordo com as alternativas propostas, sendo estas

principalmente quanto à utilização de vazões mensais e diárias como base dos cálculos energéticos e os seus respectivos períodos de dados.

Cabe ressaltar que, os resultados apresentados no projeto básico da PCH Lambari utilizando as vazões mensais se diferem na série de dados históricos contemplados nos estudos, pois para o projeto básico a ANEEL determinou utilizar somente o período consistido pela ANA.

Quando comparados os valores de energia média do projeto básico da PCH Lambari com a nova série de vazões médias mensais para um mesmo período, o que está se comparando é a correção da análise dos dados, que com uma diferença baixa, reforça a segurança das análises dos dados. Assim como quando comparada a mesma amostra de dados do projeto básico com a análise da vazão mensal para todo o período, confirmando que o comportamento da bacia se mantém ao longo período de dados, com o valor de correção de 1,72% de energia média, 1,73% para a energia assegurada e 1,45 na garantia física (Quadro 10).

Aplicados os cálculos energéticos às vazões diárias da PCH Lambari, a geração anual de energia sofre redução, influenciando negativamente na energia assegurada e garantia física disponíveis ao investidor, com os valores de energia média 1,279 MW, energia assegurada de 1,178 MW e 1,273 MW.

Quadro 9. Apresentação dos resultados dos cálculos energéticos com as diferentes séries de vazão para duas turbinas tipo Francis

Resultados	Projeto Básico	Nova série Q mensal - Período PB	Nova série Q mensal - Período Total	Q média mensal	Nova série Q diária relação AD
Período	1960-2005	1960-2005	1960-2016	1976-2016	1976-2016
N.A. máximo normal de montante (m)	350,22	350,22	350,22	350,22	350,22
N.A. normal de jusante (m)	330,97	330,97	330,97	330,97	330,97
Vazão sanitária (m³/s)	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
Vazão de uso consuntivo (m³/s)	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Vazão sanitária + uso consuntivo - Qsan (m³/s)	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46

Potência instalada (kW)	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00
Número de unidades	2	2	2	2	2
Rendimento nominal da turbina	0,903	0,903	0,903	0,903	0,903
Rendimento nominal do gerador	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960
Rendimento nominal do conjunto turbina/gerador	0,8669	0,867	0,867	0,867	0,867
Perda de carga máxima (m)	0,725	0,725	0,725	0,725	0,725
Constante de perda de carga ($K = \text{hp}/Q^2$)	0,00112	0,00112	0,00112	0,00112	0,00112
Queda bruta (m)	19,25	19,25	19,25	19,25	19,25
Queda líquida (m)	18,53	18,53	18,53	18,53	18,53
Queda de referência (m)	17,55	17,57	17,65	17,43	17,70
Queda de projeto (m)	18,87	18,85	18,81	18,72	19,08
Vazão turbinada máxima (m³/s)	26,80	26,77	26,65	26,99	26,57
Vazão de projeto (m³/s)	25,39	25,39	25,39	25,39	25,39
% Q nominal para geração	50%	50%	50%	50%	50%
Energia média (MW)	1,959	1,992	2,026	2,050	1,279
Fator de capacidade (energia média)	0,490	0,498	0,507	0,513	0,320
Disponibilidade de geral	94,86%	94,86%	94,86%	94,86%	94,86%
Perdas elétricas até	1,753%	1,753%	1,753%	1,753%	1,753%

o ponto de conexão					
Consumo interno (kW médio)	14	14	14	14	14
Energia assegurada (MW)	1,812	1,842	1,874	1,897	1,178
Fator de capacidade (energia assegurada)	0,453	0,461	0,469	0,474	0,294
Geração anual de energia (MWh)	15.873	16.140	16.419	16.617	10.318
Garantia física de energia (MW médios)	1,851	1,882	1,910	1,928	1,273
Fator de capacidade (garantia física)	0,463	0,471	0,477	0,482	0,318
Disponibilidade de para geração	67,64%	68,56%	68,84%	68,27%	64,09%

Quadro 10. Comparação dos cálculos energéticos com duas turbinas tipo Francis

	Correção de análise (Q mensal período PB - PB)		Correção de período (Q mensal PT - Q mensal PB)		Q diária PT- Q mensal PT	
Energia Média	0,033	1,66%	0,034	1,71%	-	0,772 -37,63%
Energia Assegurada	0,030	1,68%	0,032	1,73%	-	0,719 -37,91%
Garantia Física	0,031	1,69%	0,027	1,45%	-	0,655 -33,97%

Com a atualização do estudo, adotando duas turbinas tipo Kaplan é possível observar no Quadro 121 um aumento da disponibilidade de geração devido ao aproveitamento de vazões ampliado com esse tipo de turbina, que agora chega a mais de 80%, já que a porcentagem da vazão nominal para geração reduz de 50% para 30%, turbinando vazões menores. A diferença entre a geração energética com dados mensais e diários também reduz (Quadro 12), porém os valores continuam bastante significativos, com mais de 29% de incompatibilidade.

A fim de comparação, a utilização de 2 máquinas Kaplan, para geração nos períodos de estiagem ajuda a aumentar a garantia física e energia assegurada na escala diária, caindo a diferença entre a energia média calculada para vazão média mensal com duas máquinas tipo Francis e as vazões médias diárias com duas máquinas tipo Kaplan, para 21% (Quadro 13).

Quadro 11. Apresentação dos resultados dos cálculos energéticos com as diferentes séries de vazão para duas turbinas tipo Kaplan

Resultados	Projeto Básico	Nova série Q mensal - Período PB	Nova série Q mensal - Período Total	Q média mensal	Nova série Q diária
Período	1960-2005	1960-2005	1960-2016	1976-2016	1976-2016
N.A. máximo normal de montante (m)	350,22	350,22	350,22	350,22	350,22
N.A. normal de jusante (m)	330,96	330,96	330,96	330,96	330,96
Vazão sanitária (m³/s)	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
Vazão de uso consuntivo (m³/s)	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Vazão sanitária + uso consuntivo - Qsan (m³/s)	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Potência instalada (kW)	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00
Número de unidades	2	2	2	2	2
Rendimento nominal da turbina	0,914	0,914	0,914	0,914	0,914
Rendimento nominal do gerador	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960
Rendimento nominal do conjunto turbina/gerador	0,8774	0,8774	0,8774	0,8774	0,877
Perda de carga máxima (m)	0,725	0,725	0,725	0,725	0,725

Resultados	Projeto Básico	Nova série Q mensal - Período PB	Nova série Q mensal - Período Total	Q média mensal	Nova série Q diária
Constante de perda de carga ($K = \text{hp}/Q^2$)	0,00115	0,00115	0,00115	0,00115	0,00115
Queda bruta (m)	19,26	19,26	19,26	19,26	19,26
Queda líquida (m)	18,53	18,53	18,53	18,53	18,53
Queda de referência (m)	17,64	17,68	17,68	17,52	17,79
Queda de projeto (m)	19,11	19,08	19,04	18,96	19,22
Queda máxima operativa (m)	19,34	19,34	19,34	19,34	19,34
Queda mínima operativa (m)	12,67	12,67	12,67	12,67	12,67
Vazão turbinada máxima (m^3/s)	26,35	26,29	26,29	26,53	26,12
Vazão de projeto (m^3/s)	25,07	25,07	25,07	25,07	25,07
% Q nominal para geração	30%	30%	30%	30%	30%
Energia média (MW)	2,139	2,168	2,195	2,213	1,543
Fator de capacidade (energia média)	0,535	0,542	0,549	0,553	0,386
Disponibilidade de geral	94,86%	94,86%	94,86%	94,86%	94,86%
Perdas elétricas até o ponto de conexão	1,753%	1,753%	1,753%	1,753%	1,753%
Consumo interno (kW médio)	14	14	14	14	14
Energia assegurada (MW)	1,979	2,007	2,032	2,048	1,424
Fator de capacidade	0,495	0,502	0,508	0,512	0,356

Resultados	Projeto Básico	Nova série Q mensal - Período PB	Nova série Q mensal - Período Total	Q média mensal	Nova série Q diária
(energia assegurada)					
Geração anual de energia (MWh)	17.338	17.579	17.801	17.941	12.474
Garantia física de energia (MW médios)	1,960	1,987	2,012	2,029	1,417
Fator de capacidade (garantia física)	0,490	0,497	0,503	0,507	0,354
Disponibilidade para geração	80,07%	80,44%	80,56%	79,75%	80,58%

Quadro 12. Comparação dos cálculos energéticos com duas turbinas tipo Kaplan

	Correção de análise (Q mensal período PB - PB)	Correção de período (Q mensal PT - Q mensal PB)	Q diária PT- Q mensal PT
Energia Média	0,029 1,38%	0,027 1,25%	- 0,670 -30,26%
Energia Assegurada	0,027 1,39%	0,025 1,26%	- 0,624 -30,47%
Garantia Física	0,027 1,39%	0,025 1,26%	- 0,611 -30,14%

Quadro 13. Diferença de geração de energia entre Q mensal do Projeto Básico e Q diária atualizada

Diferença de geração entre Q mensal do Projeto Básico e Q diária atualizada	
Energia Média	-21,25%
Energia Assegurada	-21,42%
Garantia Física	-23,44%

Os resultados encontrados comprovam que o método da ANEEL/MME, para os cálculos de montante de energia assegurada e garantia física, superestimam a capacidade de geração de uma PCH à fio de água devido a utilização de uma série de vazões médias mensais ao invés de uma série na escala diária.

No caso da PCH Lambari a diferença é superior ao encontrado na maioria dos projetos, que fica normalmente entre 10 e 20 % de diferença, segundo Fill (2006). Este maior déficit em relação ao esperado de garantia

física pelas vazões médias mensais é atribuído as características fisiográficas e geológicas da bacia, que possui um solo argiloso, com baixa espessura, provocando respostas aos eventos de chuva muito rápidas sem a capacidade de armazenamento no solo para mantimento das vazões nos períodos secos. Ou seja, o rio Pesqueiro tem quantidade de água, porém não tem disponibilidade e isso se comprova pelo formato da curva de permanência, mostrada no item 6.1.4.3.

Uma alternativa para tentar alcançar um valor mais próximo ao da garantia física calculada na escala mensal seria utilizar um deplecionamento diário, de pelo menos um metro, junto a um modelo de previsão chuva-vazão, que auxiliasse os operadores a baixar os reservatórios antes das chuvas, de forma a diminuir o vertimento. Estima-se que este ganho seja próximo a 5%.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização da bacia é uma etapa importante para determinar o comportamento do rio e garantir a qualidade dos dados, que podem gerar inconsistência nos estudos. É referente a esta dificuldade na obtenção de dados de vazão diária consistidos um dos motivos para a ANEEL não exigir que os estudos energéticos sejam melhor adaptados à PCHs.

A caracterização da sub-bacia do rio Pesqueiro, fez com que fosse determinada a vazão média de longo termo para o local da PCH Lambari, com o valor de 20,6 m³/s e vazão específica de 30,9 l/s/km², valor de vazão específica característico da região, corroborando com os dados de vazão das outras estações fluviométricas.

Então, é a partir do múltiplo das vazões da PCH Lambari, uma vez que em usinas à fio d'água a queda é constante, que irá gerar energia. Os resultados do estudo energético da PCH apontam uma diferença bastante significativa, chegando a mais de 30% de energia assegurada e garantia física, quando comparado o método da ANEEL com vazões médias mensais e diárias.

A diferença considerável deve-se às características do rio, que se comporta rapidamente aos eventos hidrológicos a que está submetido, variando vazões de forma acentuada quando analisado na escala diária, porém ofuscado quando na escala mensal, que não aponta para os picos do comportamento, que no caso do local da PCH Lambari, leva a curva de vazões médias mensais para valores superiores, enquanto na verdade essa vazão não é acumulada pela falta de um reservatório de regularização, e simplesmente vertida.

Em seus estudos, Fill (2006) chegou a valores com diferenças de 2% à 16% nos valores de energia garantida para uma PCH.

Esses valores do cálculo energético são um pouco diferentes na prática devido ao deplecionamento de um metro do reservatório, que auxilia a manutenção da vazão, para que os valores se aproximem ao resultado esperado pelas vazões médias mensais, porém, mais de 30% é um número bastante significativo, difícil de ser alcançado com apenas um deplecionamento de um metro.

É recomendado que seja estudado o comportamento do reservatório da PCH com o deplecionamento para que se possa saber com exatidão quanto de energia assegurada e garantia física pode ser mantida com essa diferença.

As PCHS representam uma fonte de geração de energia importante na matriz energética brasileira, com isso, recomenda-se aprimorar a metodologia de avaliação quanto aos cálculos de energia assegurada e

garantia física, considerando suas variações de vazões diárias, a fim de não causar distúrbios na demanda do sistema energético.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 169 de 3 de dezembro de 2001. Estabelece critérios para utilização do Mecanismo de Realocação de Energia – MRE por centrais não despachadas centralizadamente. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 4 mai. 2001. SEC. 1, p. 104, v. 139, n. 86-E.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 652 de 9 de dezembro de 2003. Estabelece critérios para enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 10 dez. 2003. SEC. 1, p. 90, v. 140, n. 240.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 62 de 5 de maio de 2004. Estabelece os procedimentos para o cálculo do montante correspondente à energia de referência de empreendimento de geração de energia elétrica, para fins de participação no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, nos termos do Decreto no 5.025, de 30 de março de 2004, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 6 mai. 2004. SEC. 1, p. 69, v. 141, n. 86.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M.. Precipitação. In: TUCCI, E. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS, 2007. p.117-241.

BICCA, F. J.. Estimativa de parâmetros estatísticos de vazões médias anuais em nível diário no contexto de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Curitiba, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

BRASIL. Lei n. 9648, de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 8.666, de 21 de junho de 1993, no 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no 9.074, de 7 de julho de 1995, no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências. Diário Oficial [da] República federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 27 mai. 1998.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. CGSE – Câmara de Gestão do Setor Elétrico (2002). Propostas de metodologia de cálculo de energia assegurada de usinas hidrelétricas e para o mecanismo de realocação de energia – MRE. Proposta da ANA. Brasília, 11 de jun. 2002.

CETESB, Companhia Estadual de Saneamento Ambiental. Variáveis de Qualidade da Água. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso: Maio de 2016.

FILL, H. D.; MINE; M. R. M. Análise da Variabilidade do Risco Associado ao Critério da Energia Firme em um Sistema Hidrelétrico. Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos, v. 3, n. 1, p. 5-15, 1985.

FILL, H. D.; KRUGER, C. M. Valor assintótico da soma de energias garantidas incrementais das usinas de um sistema hidrelétrico integrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (8.: 1989 : Foz do Iguaçu) Anais. São Paulo. ABRH, 1989. v. 1, p. 172 -182.

FILL, H. D. Avaliação analítica da energia garantida incremental de uma usina hidrelétrica. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (8.: 1989 : Foz do Iguaçu) Anais. São Paulo. ABRH, 1989. v. 1, p. 122 -129.

FILL, H. D.; CHELLA, M. R.; MINE; M. R. M.; KAVISKI, E.; FREITAS, C.. Metodologia para avaliação da contribuição energética de Pequenas Centrais Hidrelétricas a fio d'água – relatório final. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC. Curitiba, 2003

FILL, H. D.; CHELLA, M. R.; MINE; M. R. M.; KAVISKI, E.; FREITAS, C. Avaliação de dois critérios de cálculo da energia assegurada de uma PCH. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2005.

FILL, H. D.; FREITAS, C.; KABISKA, E.; CHELLA, M. R.; MINE, M. R. M. Comparação de Parâmetros Estatísticos de Séries de Vazões censuradas ao Nível Mensal e Diário – Aplicação para Pequenas Centrais

Hidrelétricas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2006.

KERN, R.. Método de Regionalização para Avaliar a Energia Garantida Incremental de Pequenas Centrais Hidrelétricas a Fio D'Água Integradas na Região Sul do Brasil. Curitiba, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015 – RESENHA ENERGÉTICA.

SIPOT. Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico Brasileiro. Brasília. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm>. Acesso: Maio de 2016

TUCCI, C. E. M. Geração de energia de uma PCH. Disponível em: <http://www.blog.rhama.net>. Acesso: Abril de 2016.

TUCCI, C. E. Hidrologia: Ciência e Aplicação (4^a ed.). Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

TUCCI, C.E.M. Regionalização de vazões. In: Tucci, C.E.M (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. UFRGS, ABRH, Porto Alegre, Brasil. 2004. p. 573-619.

SILVA, T. M. Caracterização de Bacias Hidrográficas Utilizadas na Geração de Energia em Santa Catarina. Florianópolis, 2015. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina.

9. APÊNDICE

9.1 DADOS CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

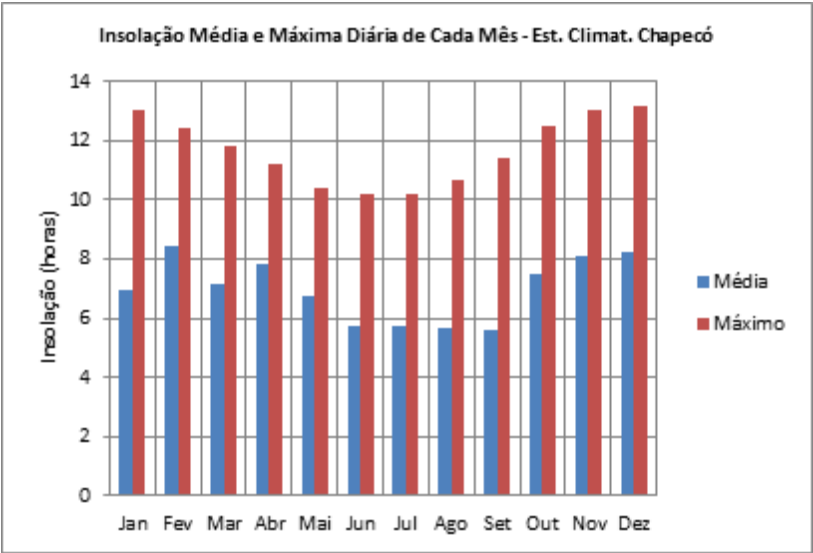


Figura 18 Estação Climatológica Chapecó - Insolação (horas)

Quadro 14 Estação Climatológica INMET Chapecó - Insolação

Nome da Estação	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Chapecó	228,6	198,3	222,3	188,9	184,3	159,8	176,3	168,4	165,0	211,7	229,3	237,6

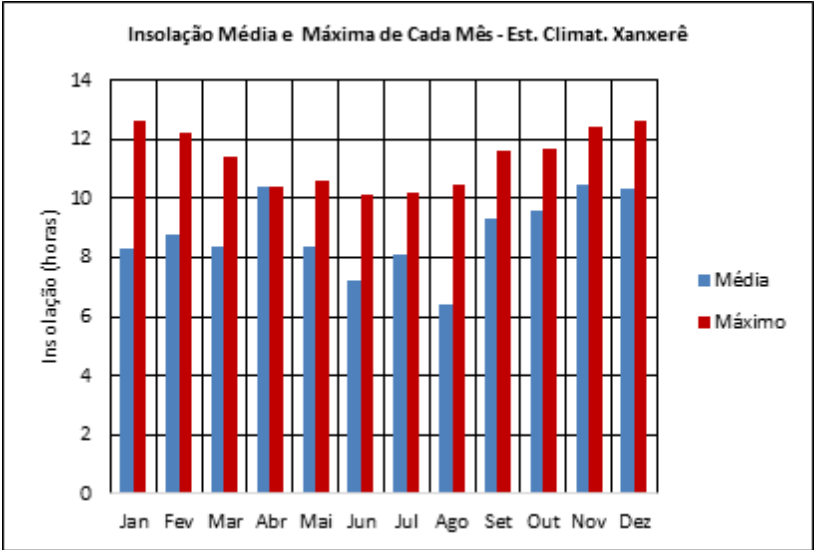


Figura 19 Estação Climatológica Xanxerê - Insolação (horas)

Quadro 15 Estação Climatológica Chapecó - Umidade Relativa (%)

Umidade Relativa Média Mensal - Est. Climat. Chapecó												
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	76,5	74,4	77,5	72,6	75,8	77,0	72,5	71,8	71,3	69,2	67,8	71,9
Máximo	81,1	80,9	82,3	83,4	82,4	85,2	78,5	77,1	80,2	74,9	72,3	78,0
Mínimo	68,4	64,0	66,2	54,5	59,1	68,0	66,5	66,4	62,6	63,3	65,1	65,1

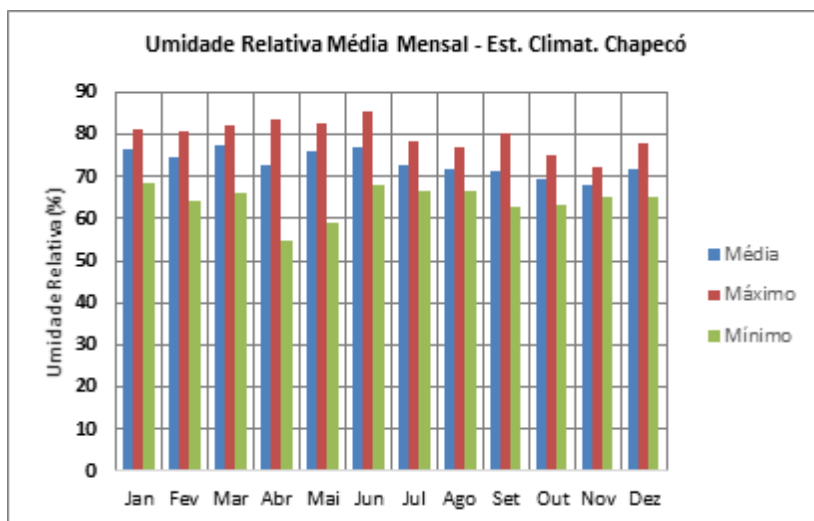


Figura 20 Estação Climatológica Chapecó - Umidade Relativa (%)

Quadro 16 Estação Climatológica Xanxerê - Umidade Relativa (%)

Umidade Relativa Média mensal - Est. Climat. Xanxerê												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	79,6	79,3	80,3	78,8	77,9	78,4	76,0	75,8	76,0	75,8	73,6	76,1
Máximo	83,0	86,5	87,2	87,5	85,3	84,2	84,5	82,0	87,5	86,2	84,5	84,6
Mínimo	72,4	65,7	73,8	64,7	62,8	64,8	66,8	66,1	62,2	66,2	58,1	65,5

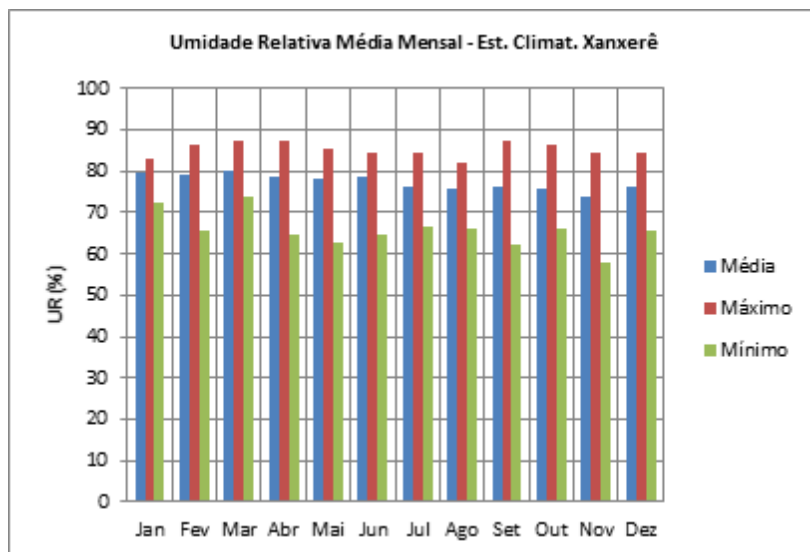


Figura 21 Estação Climatológica Xanxerê - Umidade Relativa (%)

Quadro 17 Estação Climatológica INMET Chapecó e Xanxerê – Umidade Relativa (%)

Nome da Estação	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Chapecó	73,0	75,0	75,0	76,0	78,0	77,0	74,0	71,0	72,0	71,0	69,0	71,0
Xanxerê	80,3	80,7	81,0	79,9	79,7	80,2	77,1	76,9	76,2	76,2	75,1	77,4

Quadro 18 Estação Climatológica Chapecó - Evaporação

Evaporação Total Mensal (mm) - Est. Climat. Chapecó													
Alt	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
197 3							57,7	87,0	87,5	140,9	154,2	123,2	
197 4	101,7	82,5	87,7	102,5	93,3	81,4	125,5	150,8	164,0	152,3	136,0	120,8	1398,5
197 5	113,6	77,2	77,1	83,6	85,1	67,9	112,2	113,6	94,8	107,7	110,8	99,3	1142,9
197 6	78,0	97,1	82,1	87,5	65,5	72,9	110,7	124,9	121,9	134,8	118,6	135,8	1229,8
197 7	96,7	89,4	79,9	89,7	89,2	86,4	155,1	93,8	123,5	126,0	100,2	133,8	1263,7
197 8	148,5	136,7	145,2	184,2	151,0	123,6	95,9	121,3	127,4	141,2	124,0	148,4	1647,4

Quadro 19 Estação Climatológica Chapecó - Evapotranspiração

EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (mm/mês) - Chapecó													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1976	125,4	97,6	89,4	60,4	43,8	31,0	39,4	45,2	54,2	76,5	97,9	117,5	878,17
1977	122,0	122,1	98,5	58,5	48,9	40,5	57,9	43,8	69,2	91,0	94,9	121,8	969,11
1978	134,4	108,9	112,7	62,9	38,9	38,2	50,2	40,9	61,1	93,4	95,8	120,2	957,62
1989	118,4	104,0	95,3	74,0	46,5	36,3	31,5	47,3	47,6	72,1	92,9	128,4	894,25
1991	130,5	100,8	109,9	72,2	55,0	36,4	34,9	50,4	69,5	87,2	100,0	124,6	971,40
1992	124,8	110,4	98,8	65,6	50,6	38,6	27,0	39,2	56,0	85,1	89,6	131,3	916,88
1993	126,9	90,4	100,4	82,0	48,9	35,9	34,2	51,4	48,7	94,0	98,7	122,8	934,24
1994	127,7	102,6	93,0	72,3	53,5	33,3	45,6	48,6	63,9	104,1	96,9	107,7	949,15
1995	129,2	104,5	96,7	56,6	42,9	43,1	53,6	60,7	60,7	69,0	111,2	136,5	964,71
1996	133,1	108,5	96,9	77,4	52,8	28,5	26,4	59,3	52,2	75,7	107,2	122,6	940,48

Quadro 20 Estação Climatológica Xanxerê - Evaporação

Evaporação Total Mensal (mm) - Est. Climat. Xanxerê													
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1971	113,4	57,8	175,0	82,1	61,7	60,7	70,4	85,2	100,7	106,4	166,9	126,9	1207,2
1972	110,1	85,2	93,7	85,9	95,7	78,7	89,8	92,2	109,6	111,9	100,6	135,2	1188,6
1973	82,7	85,0	88,4	79,5	76,5	77,5	102,4	93,0	93,7	142,6	137,6	117,9	1176,8
1974	102,7	106,6	86,3	98,6	88,1	79,8	135,2	146,1	51,3	131,1	151,9	162,1	1339,8
1975	110,2	104,8	90,0	100,4	85,5	86,5	97,7	120,5		100,6	129,3	95,6	
1976	78,7	95,5	85,7	86,5	59,0	80,7	104,0	109,0	108,8	132,0	128,9	124,5	1193,3
1977		94,5	83,9	83,3	84,0	82,0	164,9	93,6	124,5	112,6	96,4	112,1	
1978		111,9	117,3	146,5	136,6	121,5	109,9	131,5	135,6	172,5	117,1	136,4	

Quadro 21 Estação Climatológica Xanxerê - Evapotranspiração

EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (mm/mês)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total

1961	118,1	91,4	81,6	56,4	40,6	33,3	40,9	56,2	57,8	80,9	88,3	109,2	854,73
1962	100,5	83,0	90,7	61,7	37,1	32,3	23,8	42,6	61,8	60,0	87,0	119,5	799,90
1963	118,7	93,3	98,2	58,1	41,5	28,5	43,6	55,6	68,0	75,3	86,5	100,5	867,71
1964	119,8	100,9	94,8	71,4	43,8	28,1	28,3	43,1	55,8	60,1	74,5	90,5	811,15
1965	108,3	88,4	66,0	63,2	42,9	40,1	34,4	49,8	55,4	71,3	91,1	104,1	814,91
1966	112,8	94,1	85,2	65,9	45,9	36,0	41,5	39,1	45,6	63,3	91,1	103,9	824,54
1967	98,5	84,2	82,9	60,0	55,3	29,8	40,3	55,8	56,9	87,2	81,2	99,1	831,31
1968	104,2	92,8	89,6	42,8	32,3	36,8	39,5	45,8	44,6	69,0	111,1	115,8	824,26
1969	112,0	106,8	95,7	64,3	49,9	35,4	38,8	42,3	60,6	59,3	89,4	97,0	851,45
1970	114,9	98,8	100,1	70,6	57,3	35,5	37,3	44,1	53,2	72,5	70,5	106,4	861,07
1971	113,9	102,1	94,4	52,4	39,6	30,5	45,4	52,3	68,0	70,7	88,6	111,7	869,77
1972	113,8	89,2	95,0	56,6	62,1	48,9	42,9	41,0	60,1	69,9	91,1	106,8	877,34
1973	118,3	112,4	94,3	84,2	47,2	39,2	36,8	36,4	49,3	75,3	80,1	106,4	879,82
1975	102,5	100,7	96,9	65,1	47,3	39,7	30,9	59,3	60,8	69,3	83,3	110,8	866,43

Quadro 22 Estação Climatológica INMET Chapecó - Evaporação

Nome da Estação	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Chapecó	122,7	90,1	99,3	86,0	80,5	76,5	102,6	106,9	102,3	119,8	121,0	128,1

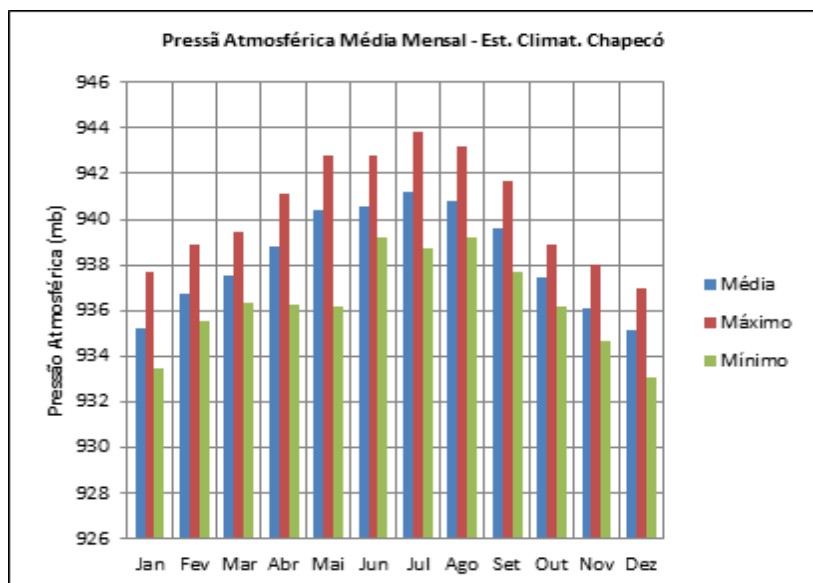


Figura 22 Estação Climatológica Chapecó - Pressão Atmosférica

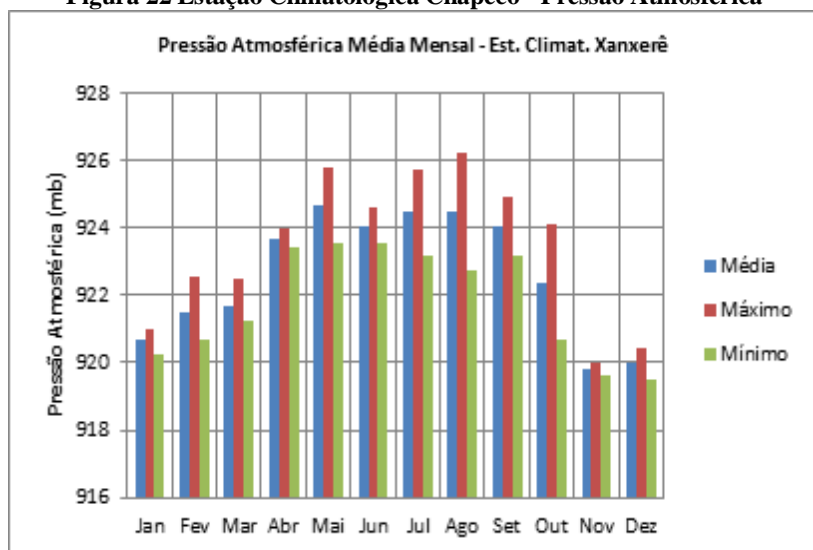


Figura 23 Estação Climatológica Xanxerê - Pressão Atmosférica

Quadro 23 Estação Climatológica INMET Chapecó - Pressão Atmosférica

Nome da Estação	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Chapecó	935,0	936,0	936,4	938,2	939,0	940,4	940,7	939,7	939,1	937,1	935,3	934,6

9.2 DADOS CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

9.2.1 Análise de Consistência

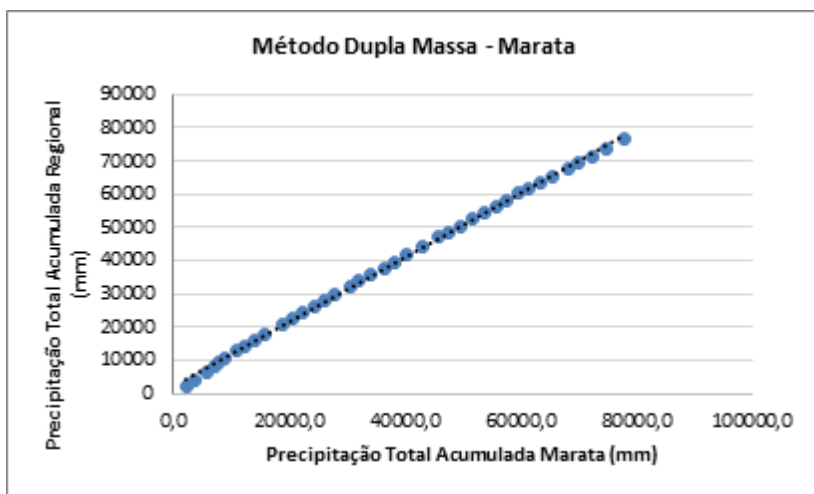


Figura 24 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Maratá

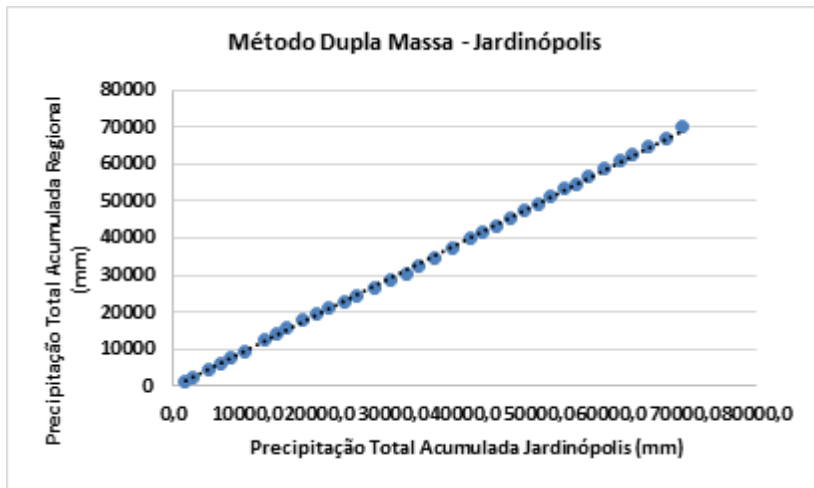


Figura 25 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Jardinópolis

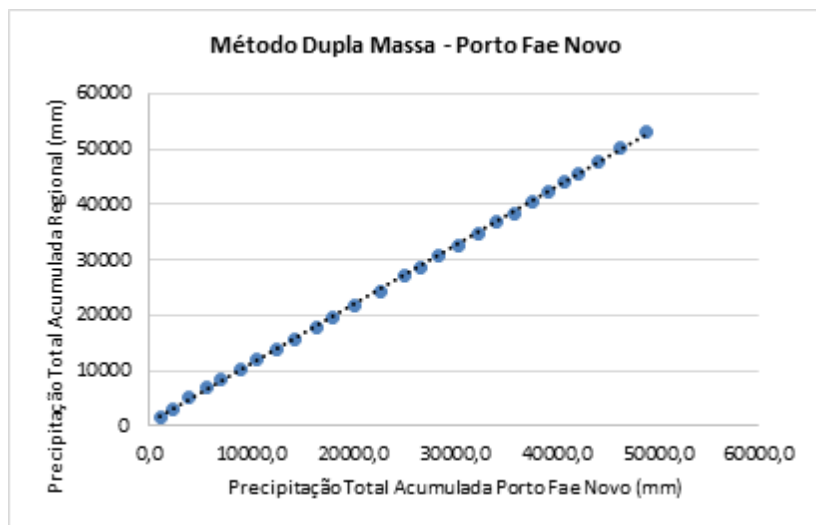


Figura 26 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Porto Fae Novo

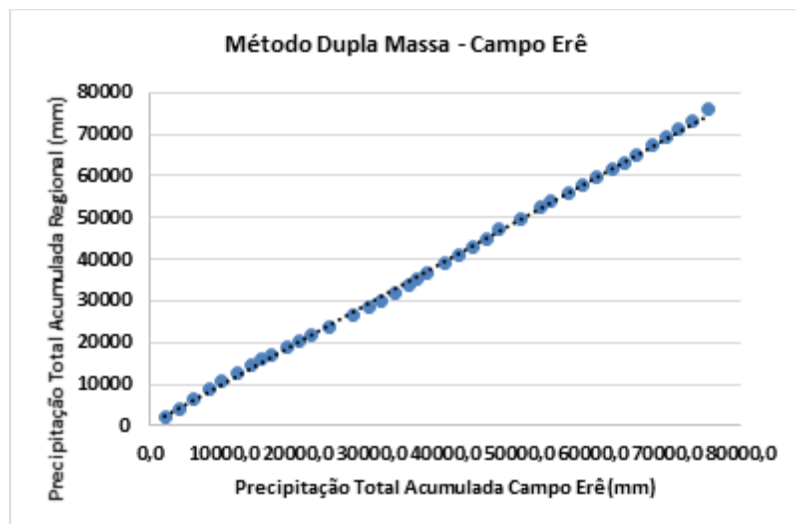


Figura 27 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Campo Erê

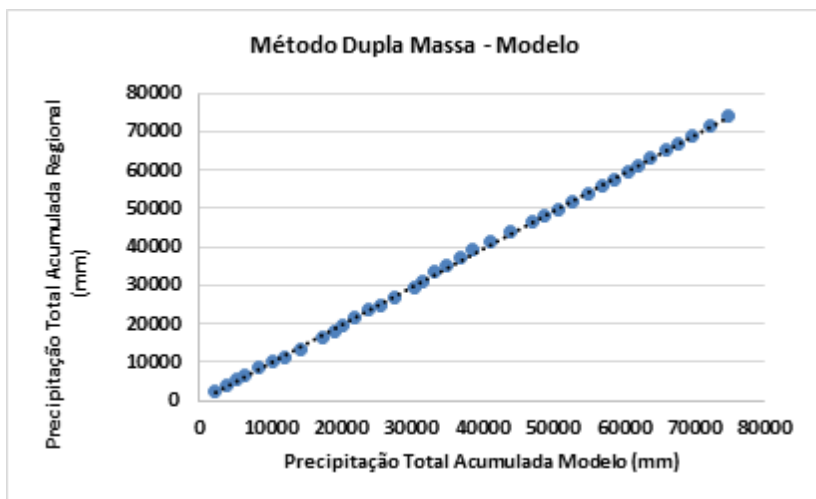


Figura 28 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Modelo

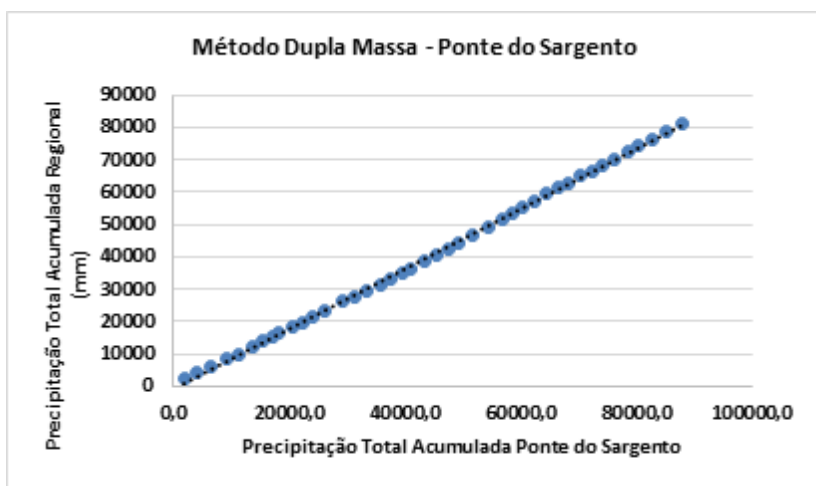


Figura 29 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Ponte do Sargento

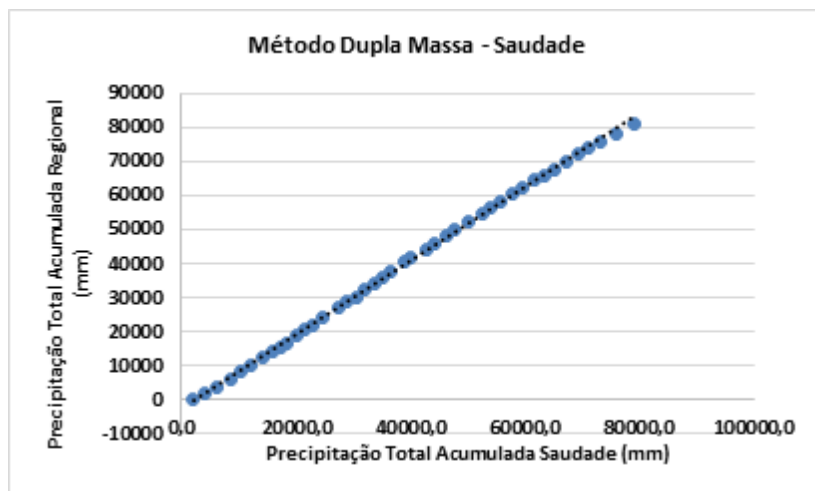


Figura 30 Análise de Consistência Método da Dupla Massa - E. P. Saudade

Quadro 24 Análise de Consistência - Vetor Regional C

Estações	MA	JARD	PFN	CE	MOD	PoS	SAUD
Vetor C	1,04809	0,964113	0,694491	1,062135	1,066451	1,186647	0,973545

Quadro 25 Análise de Consistência - Vetor Regional L

Vetor L	Anos	Vetor L	Anos	2084,301	1994
905,2391924	1970	1889,988	1982	1640,815	1995
917,2247156	1971	2641,32	1983	2192,345	1996
1021,52951	1972	1776,561	1984	2578,592	1997
1367,858004	1973	950,8608	1985	2293,221	1998
1032,820852	1974	1886,012	1986	1590,318	1999
1646,270854	1975	1706,465	1987	1547,176	2000
1324,808365	1976	1546,884	1988	1398,957	2001
1210,028143	1977	1606,929	1989	2095,738	2002
1005,758898	1978	1114,766	1990	1861,359	2003
1796,600971	1979	1246,844	1991	1463,78	2004
1534,657727	1980	1684,47	1992	2057,918	2005
1565,388053	1981	1836,567	1993	1532,414	2006

9.2.2 Precipitações Totais

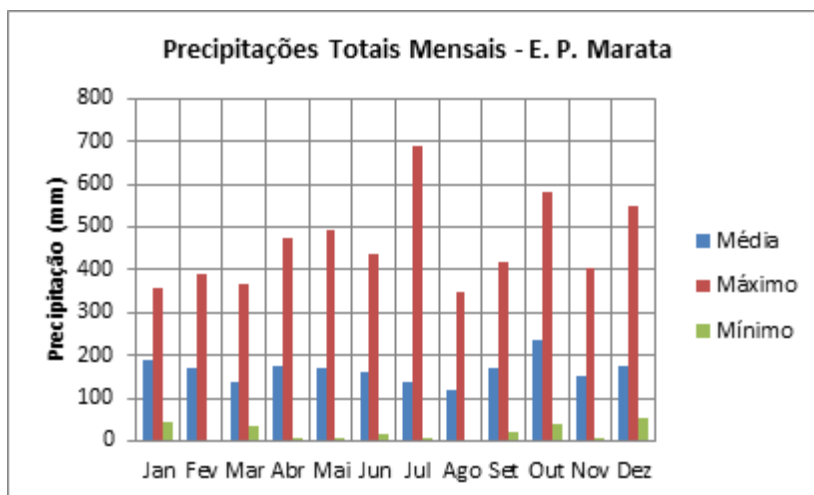


Figura 31 Precipitações Totais Mensais - E. P. Marata

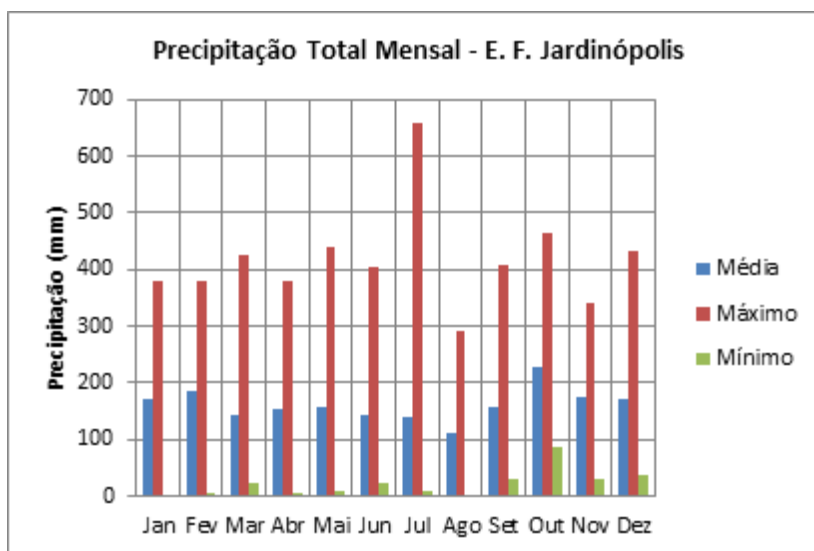


Figura 32 Precipitações Totais Mensais - E. P. Jardinópolis

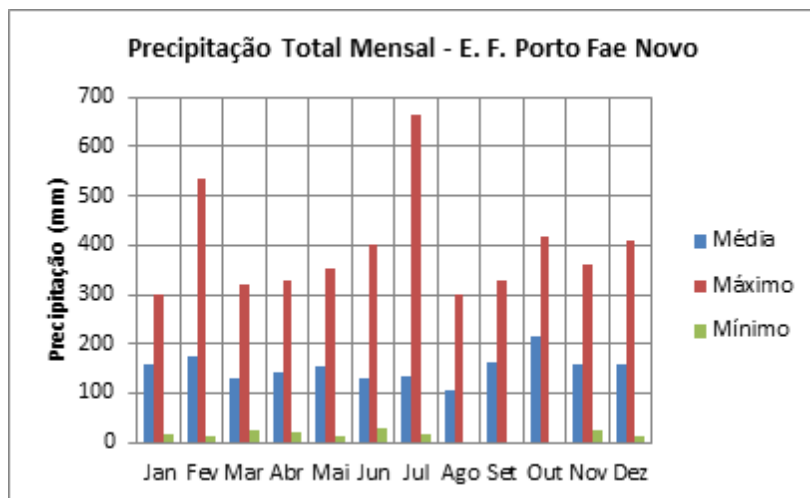


Figura 33 Precipitações Totais Mensais - E. P. Porto Fae Novo

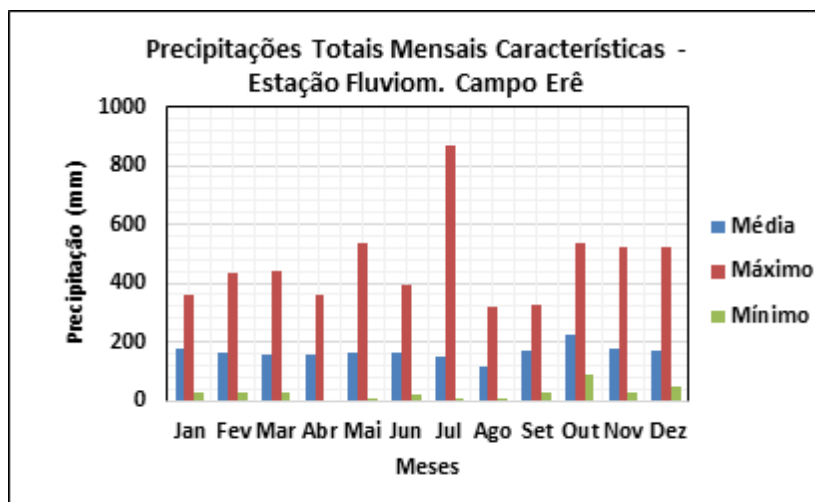


Figura 34 Precipitações Totais Mensais - E. P. Campo Erê

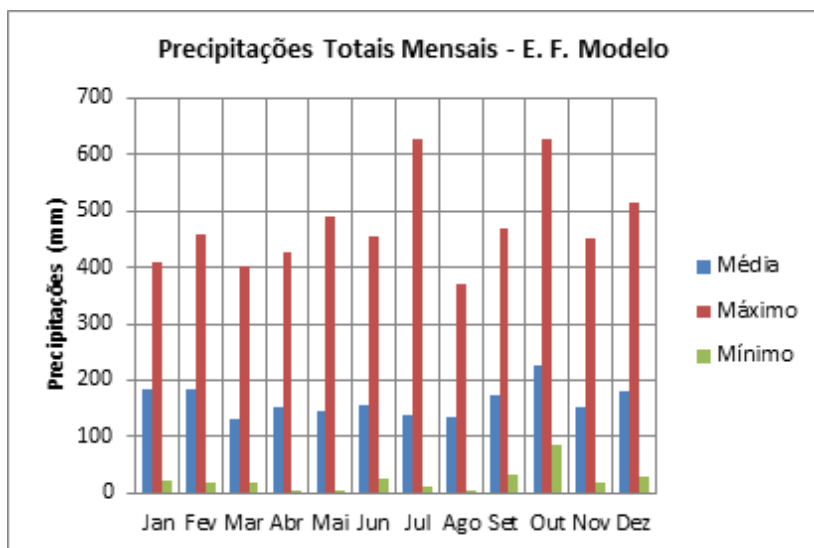


Figura 35 Precipitações Totais Mensais - E. P. Modelo

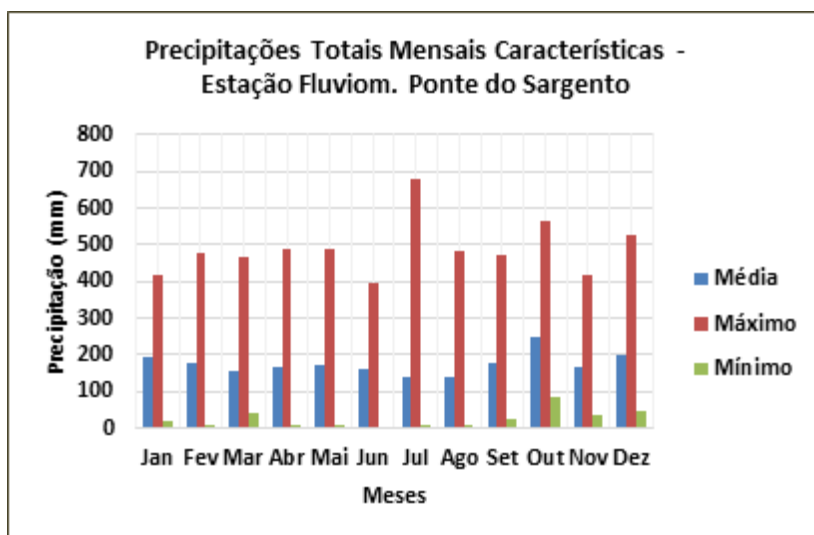


Figura 36 Precipitações Totais Mensais - E. P. Ponte do Sargento

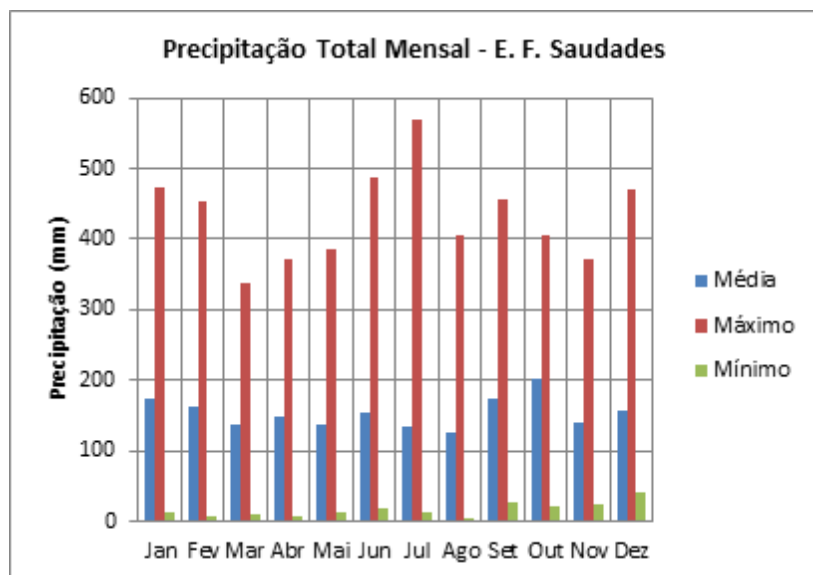


Figura 37 Precipitações Totais Mensais - E. P. Saudades

9.2.3 Precipitações Máximas

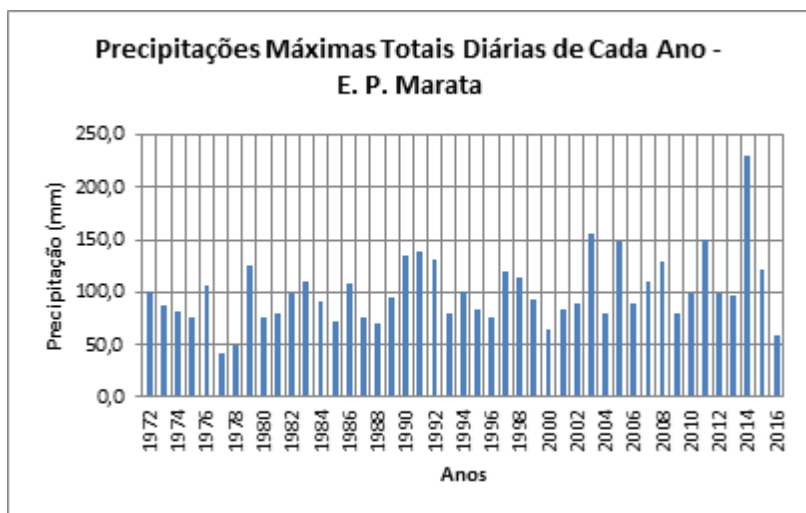


Figura 38 Estação Pluviométrica Marata - Precipitações Total Diária de Cada Ano

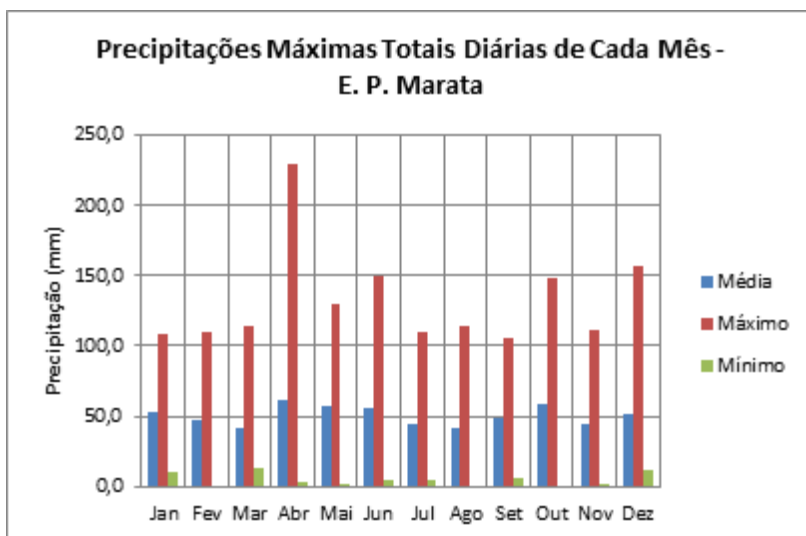


Figura 39 Estação Pluviométrica Marata - Precipitação Total Diária de Cada Mês

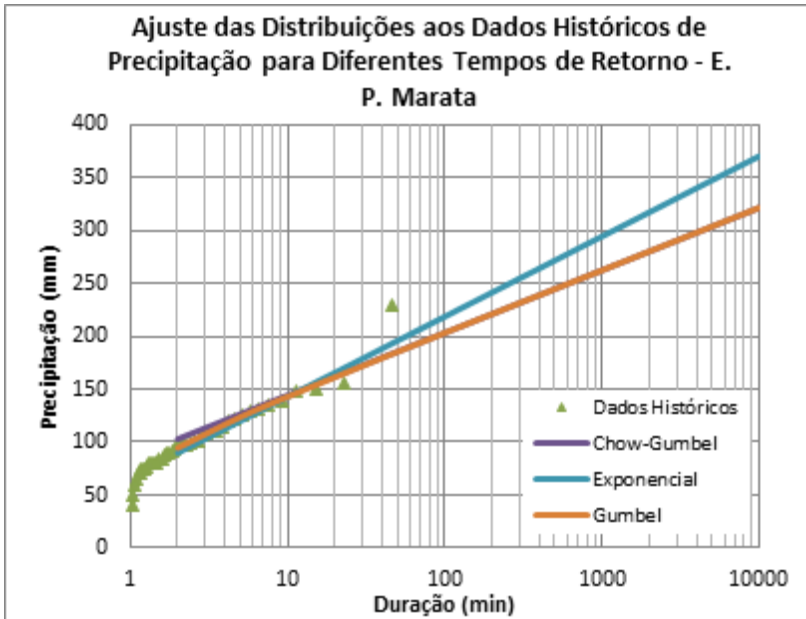


Figura 40 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Marata

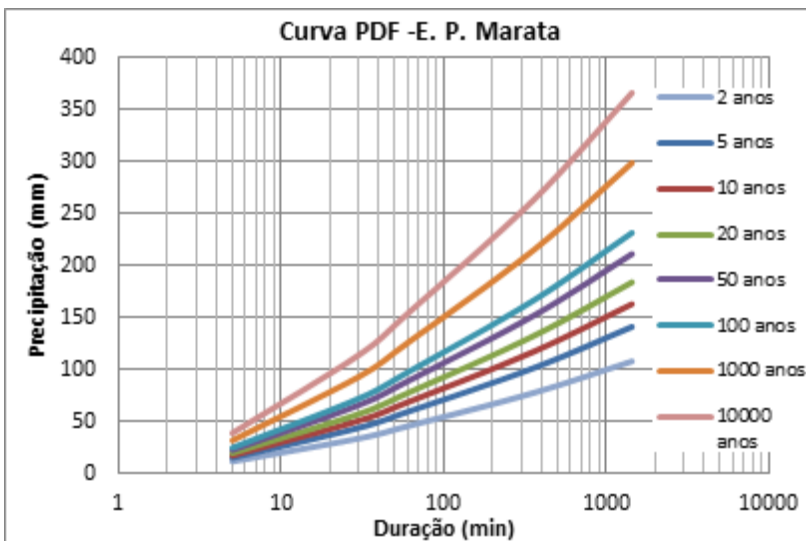


Figura 41 Curva PDF - E. P. Marata

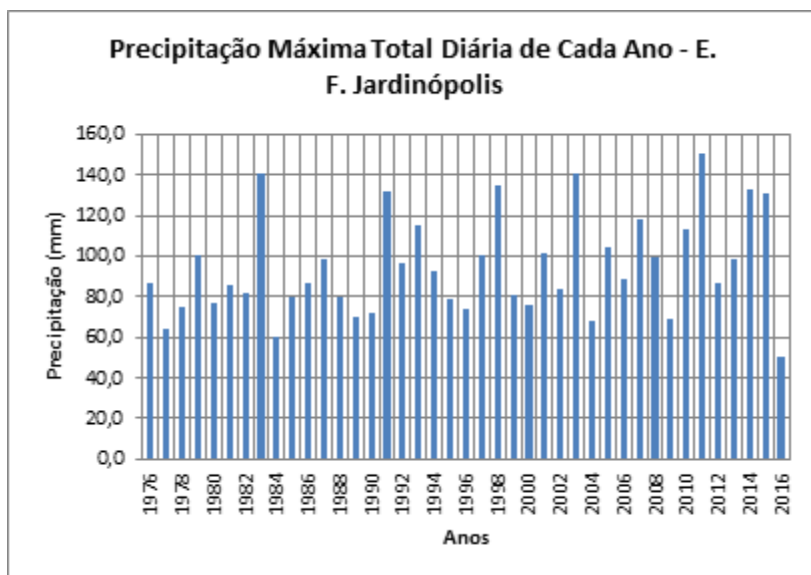


Figura 42 Estação Pluviométrica Jardinópolis - Precipitações Total Diária de Cada Ano

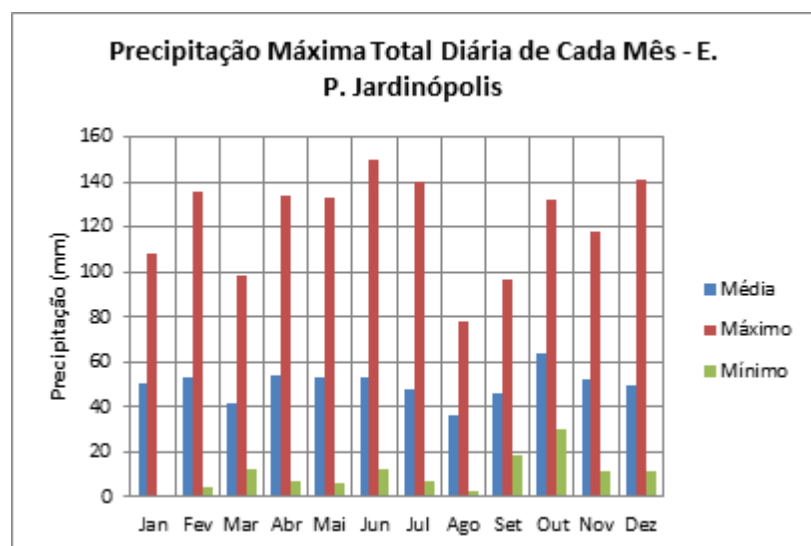


Figura 43 Estação Pluviométrica Jardinópolis - Precipitação Total Diária de Cada Mês

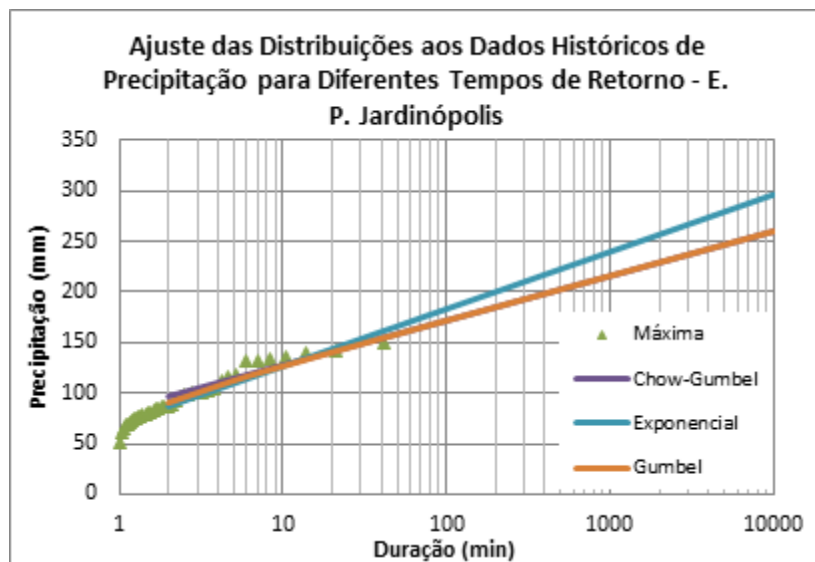


Figura 44 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Jardinópolis

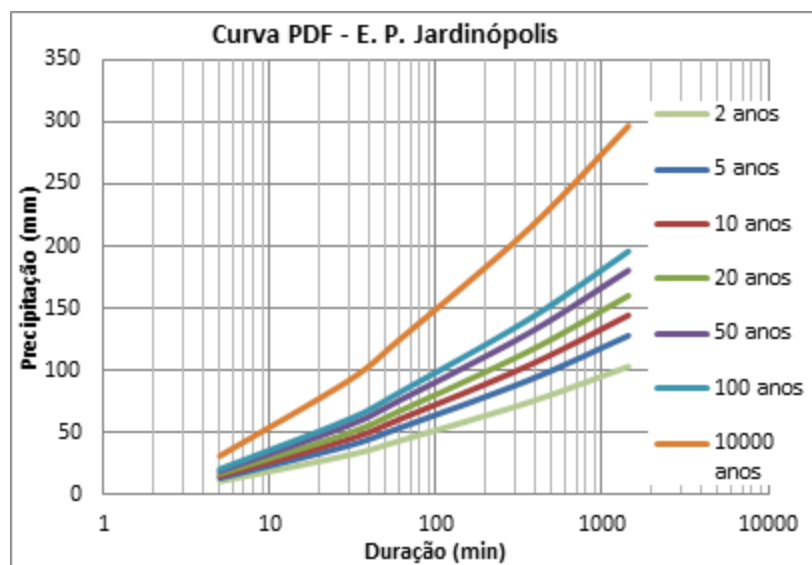


Figura 45 Curva PDF - E. P. Jardinópolis

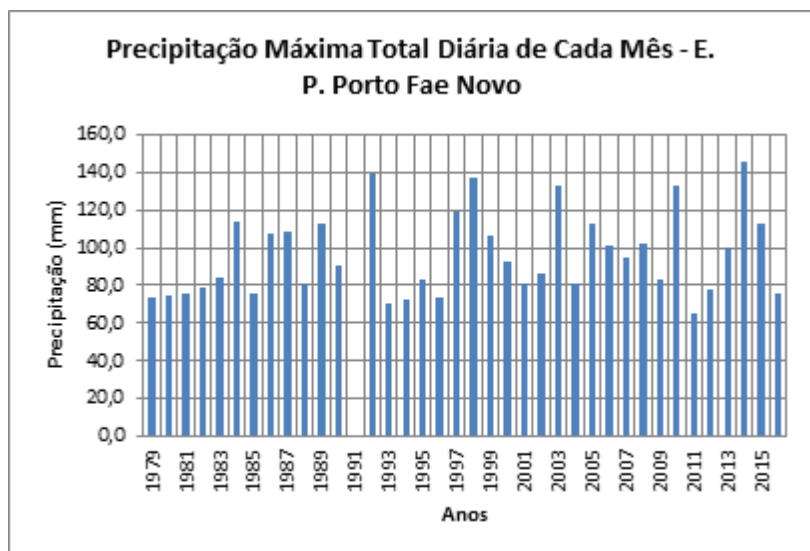


Figura 46 Estação Pluviométrica Porto Fae Novo - Precipitações Total Diária de Cada Ano

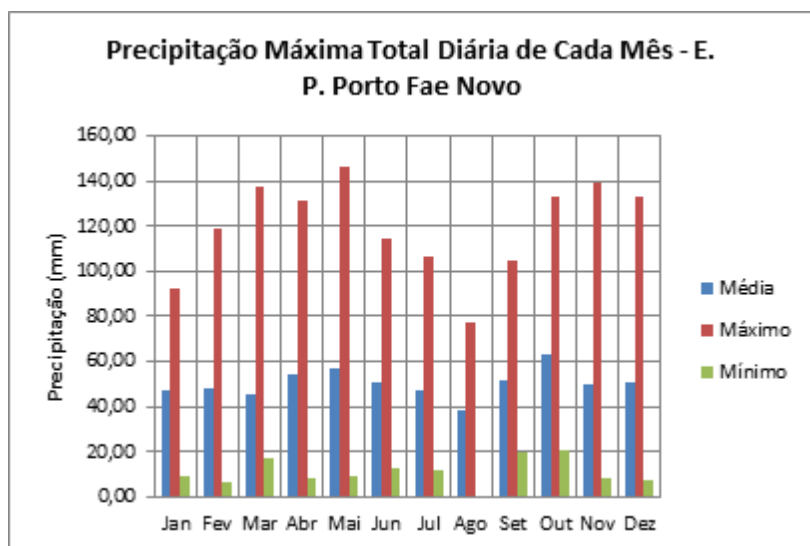


Figura 47 Estação Pluviométrica Porto Fae - Precipitação Total Diária de Cada Mês

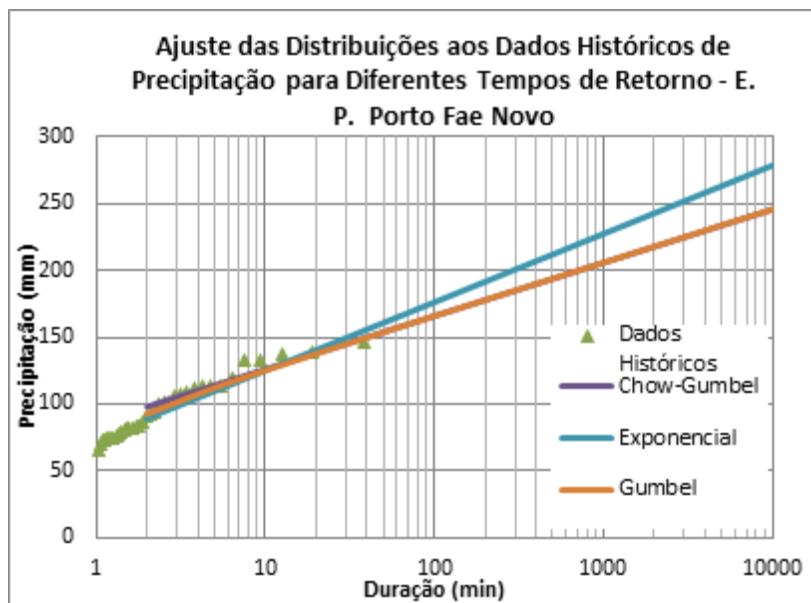


Figura 48 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Porto Fae Novo

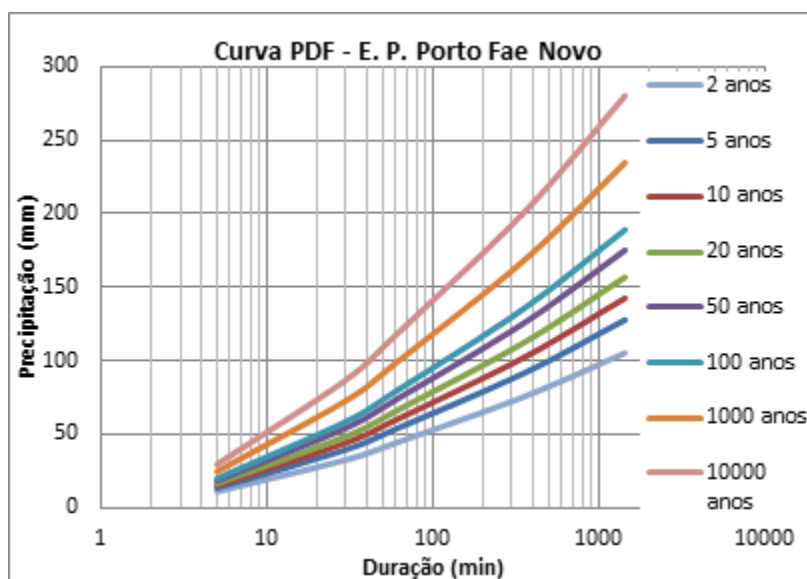


Figura 49 Curva PDF - E. P. Porto Fae Novo

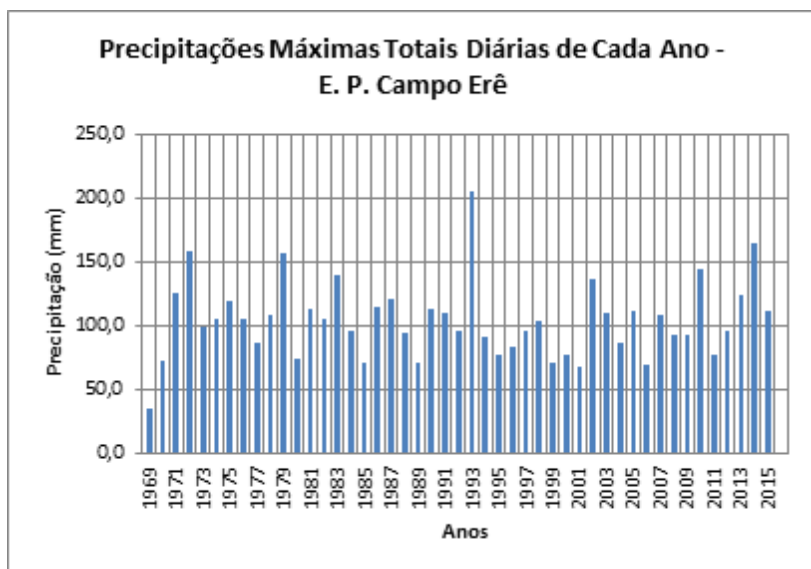


Figura 50 Estação Pluviométrica Campo Erê - Precipitações Total Diária de Cada Ano

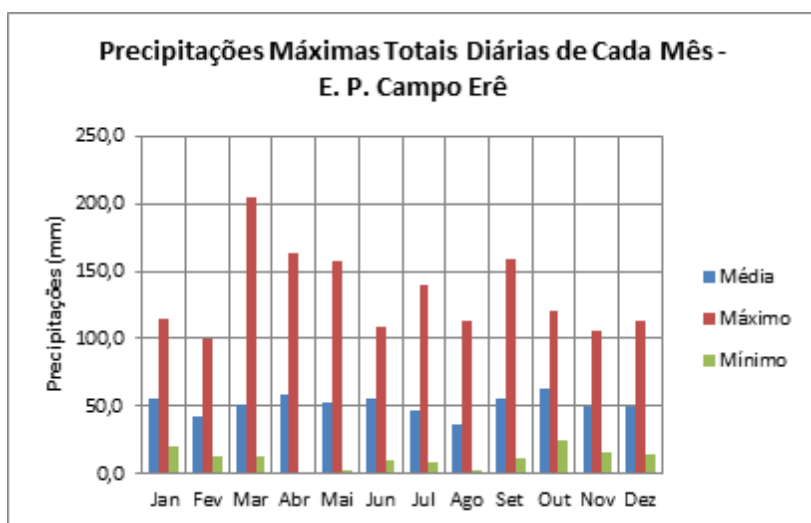


Figura 51 Estação Pluviométrica Campo Erê - Precipitação Total Diária de Cada Mês

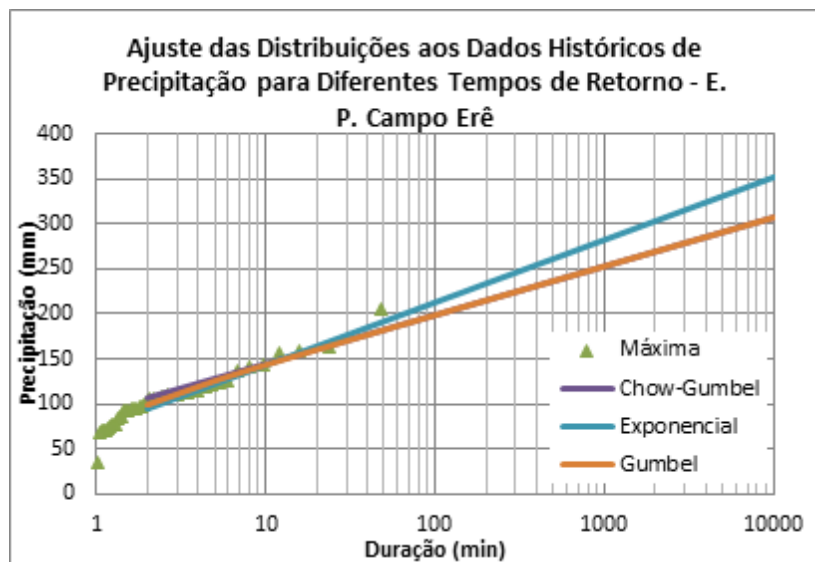


Figura 52 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Campo Erê

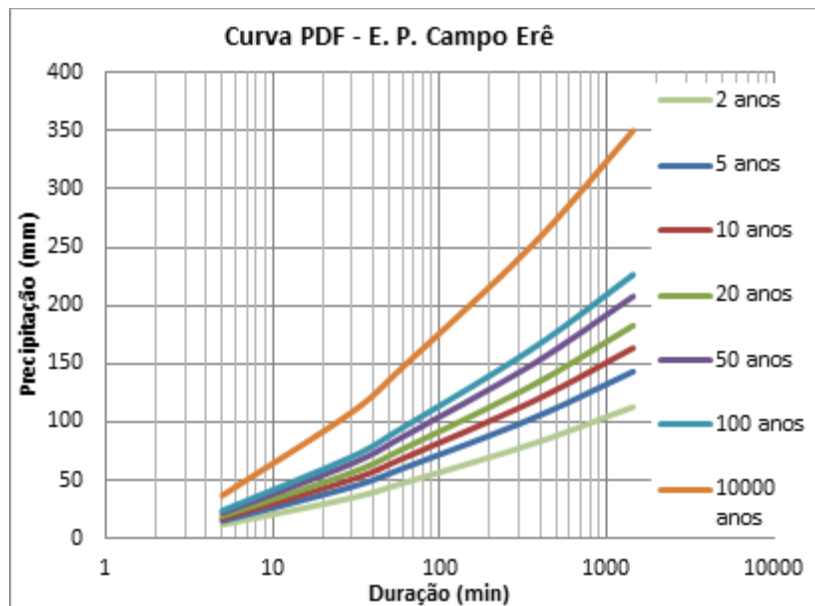


Figura 53 Curva PDF - E. P. Campo Erê

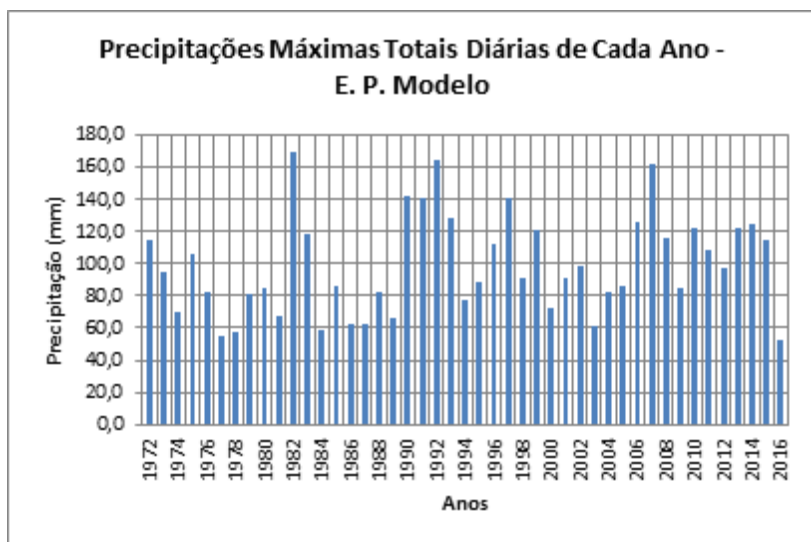


Figura 54 Estação Pluviométrica Modelo - Precipitações Total Diária de Cada Ano

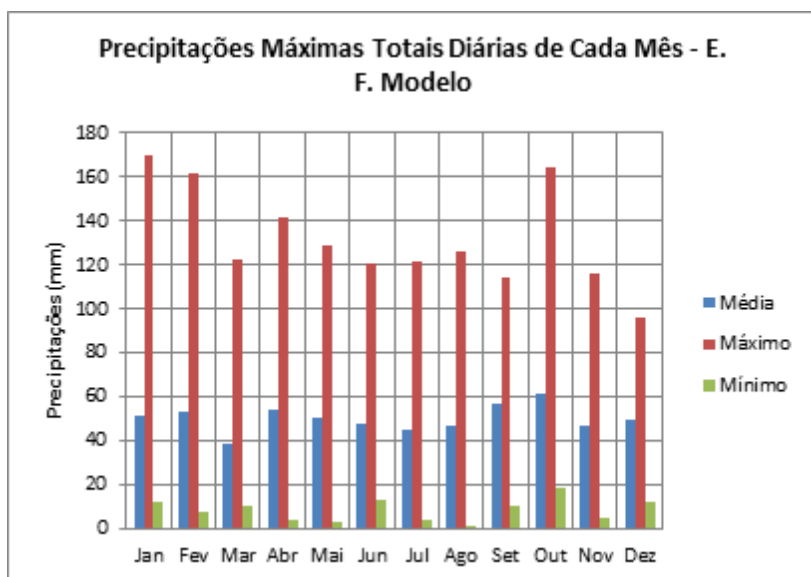


Figura 55 Estação Pluviométrica Modelo - Precipitação Total Diária de Cada Mês

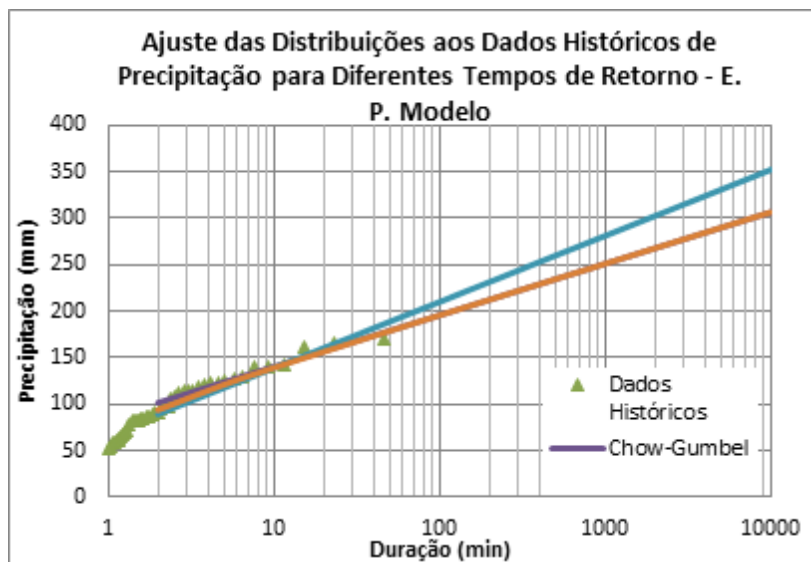


Figura 56 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Modelo

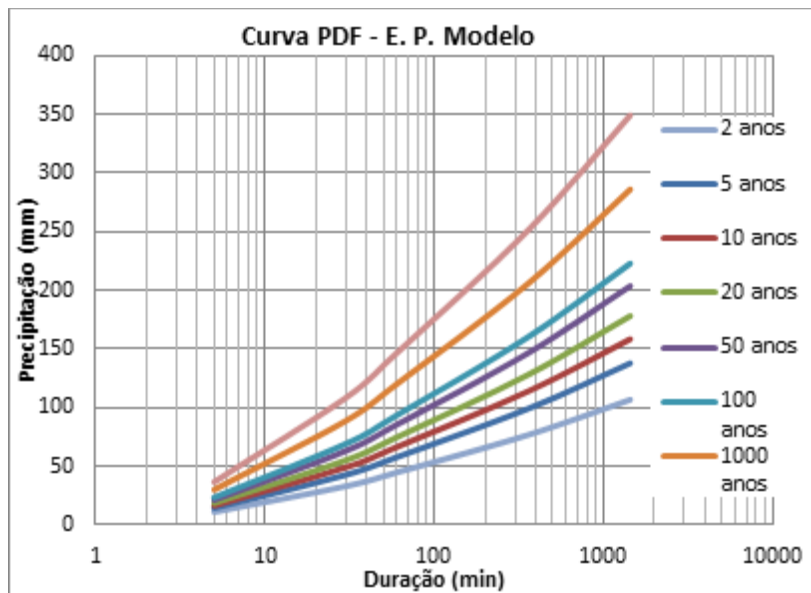


Figura 57 Curva PDF - E. P. Modelo

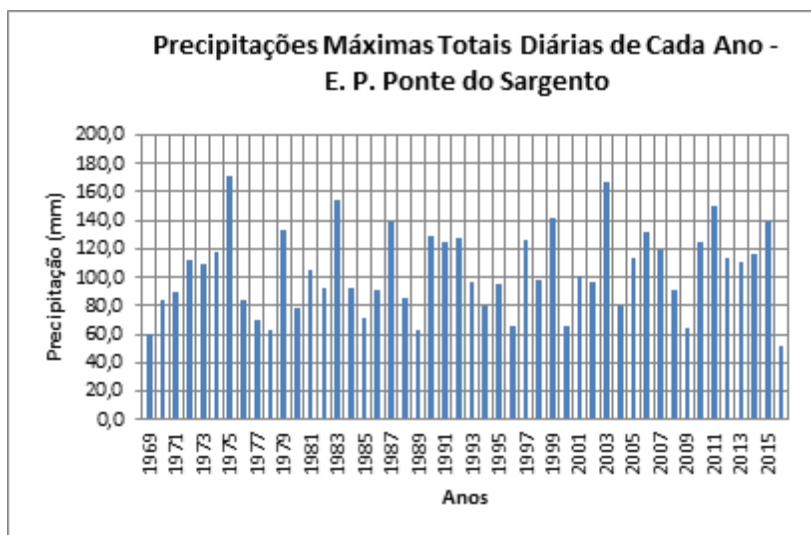


Figura 58 Estação Pluviométrica Ponte do Sargento - Precipitações Total Diária de Cada Ano

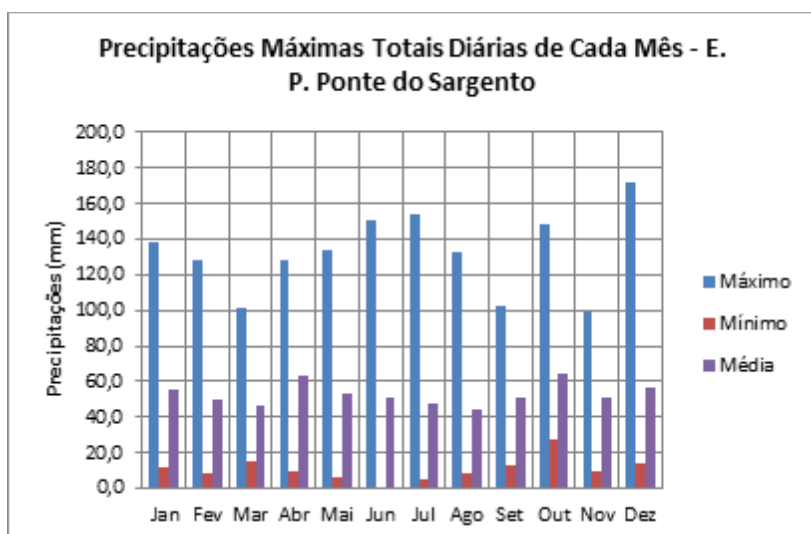


Figura 59 Estação Pluviométrica Ponte do Sargento - Precipitação Total Diária de Cada Mês

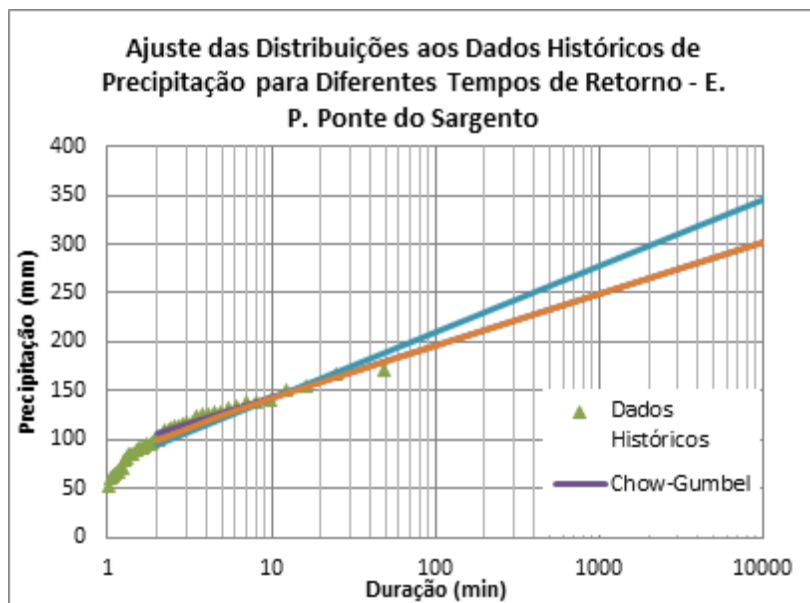


Figura 60 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Ponte do Sargento

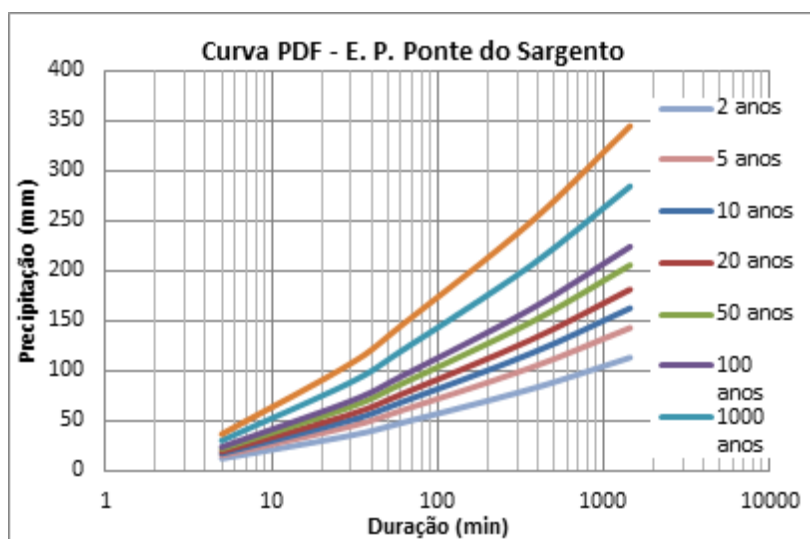


Figura 61 Curva PDF - E. P. Ponte do Sargento

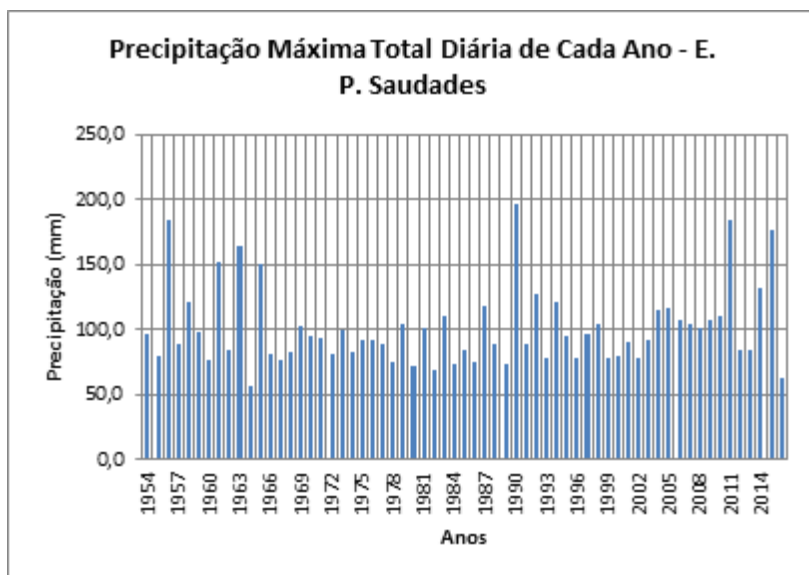


Figura 62 Estação Pluviométrica Saudades - Precipitações Total Diária de Cada Ano

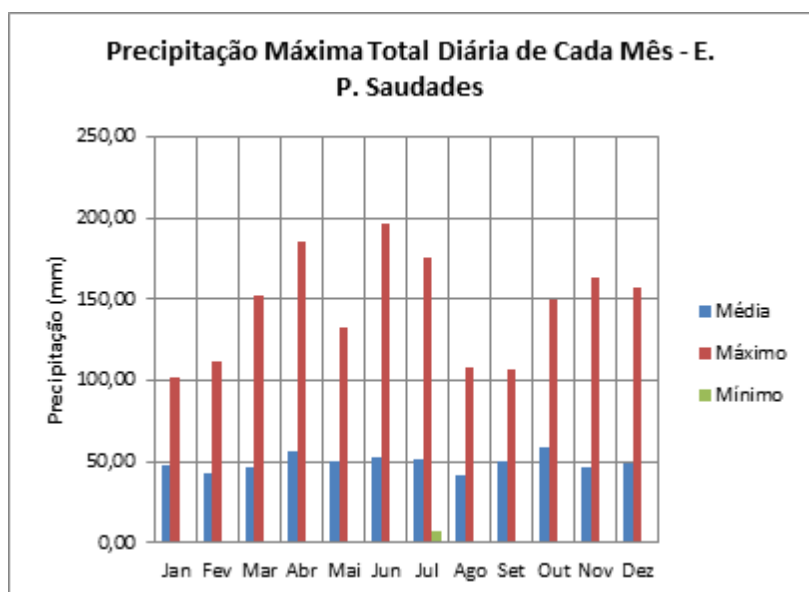


Figura 63 Estação Pluviométrica Saudades - Precipitação Total Diária de Cada Mês

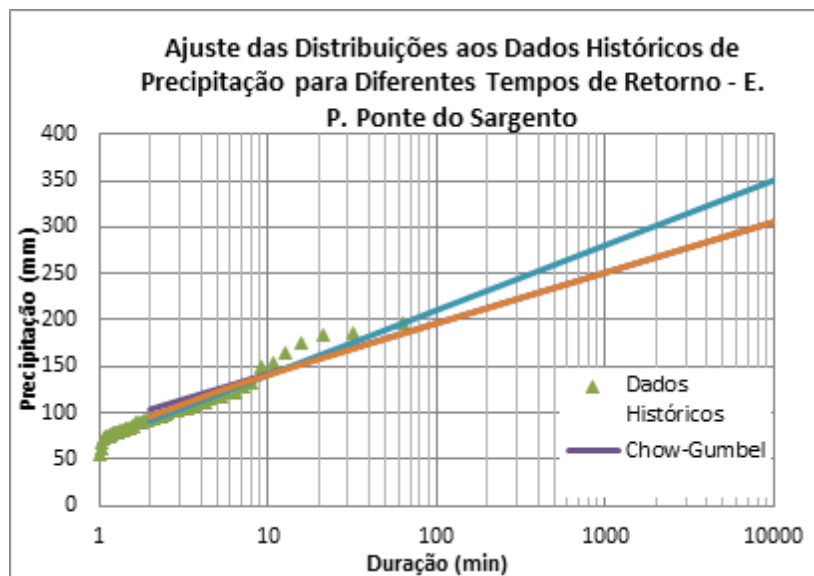


Figura 64 Ajuste das Distribuições aos Dados Históricos de Precipitação para Diferentes Tempos de Retorno - E. P. Ponte do Sargento

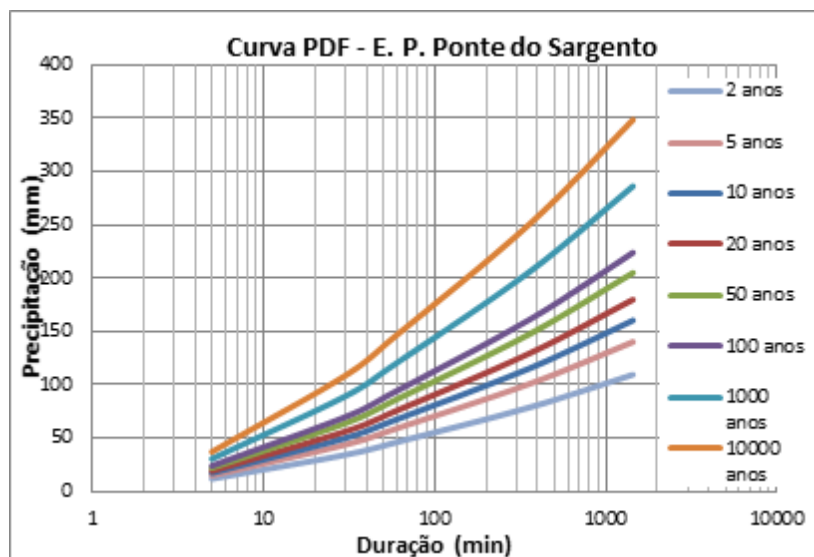


Figura 65 Curva PDF - E. P. Ponte do Sargento

9.2.4 Número de Dias de Chuva

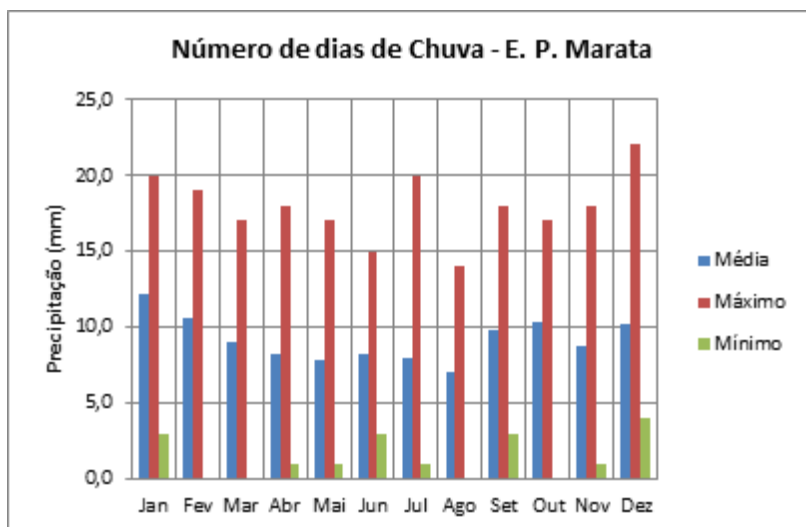


Figura 66 Estação Pluviométrica Marata – Número de Dias de Chuva

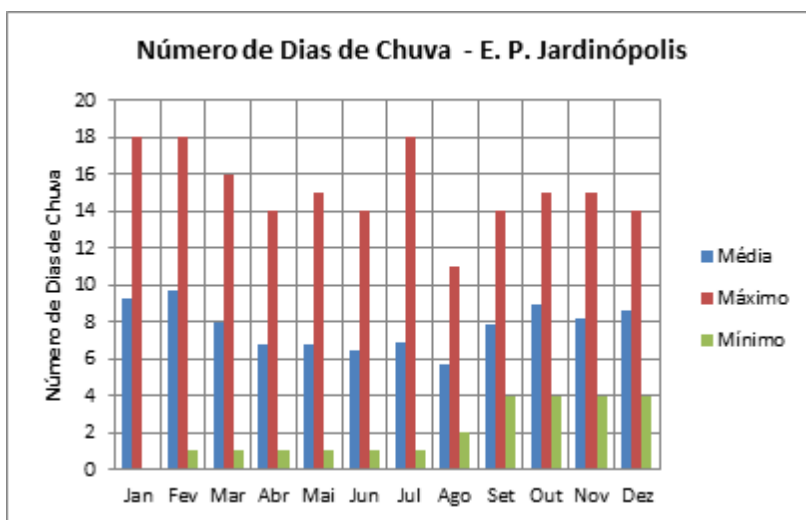


Figura 67 Estação Pluviométrica Jardinópolis – Número de Dias de Chuva

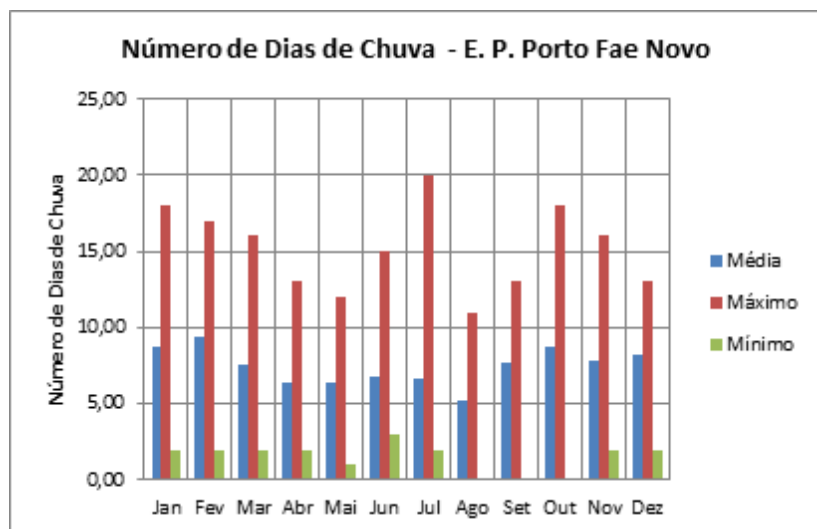


Figura 68 Estação Pluviométrica Porto Fae Novo – Número de Dias de Chuva

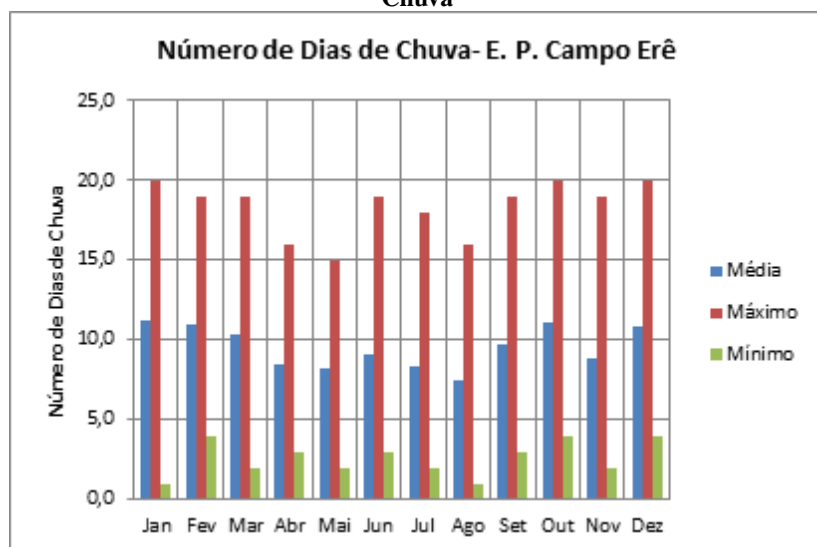


Figura 69 Estação Pluviométrica Campo Erê – Número de Dias de Chuva

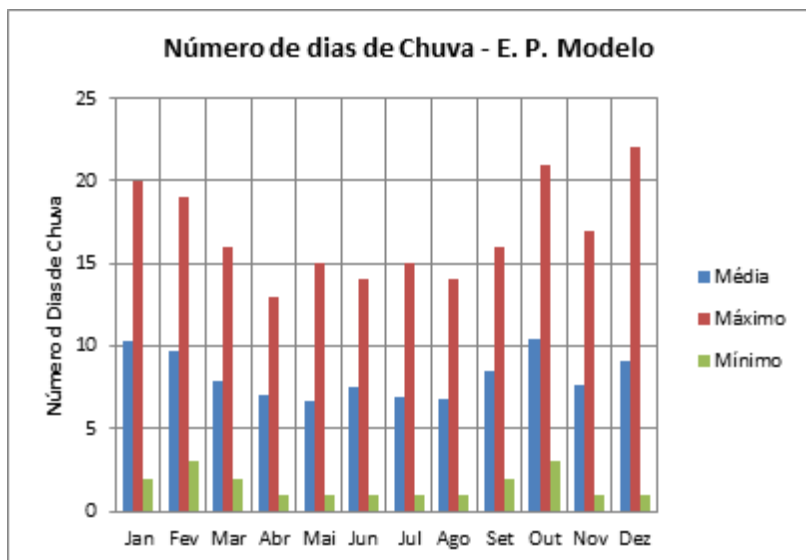


Figura 70 Estação Pluviométrica Modelo – Número de Dias de Chuva

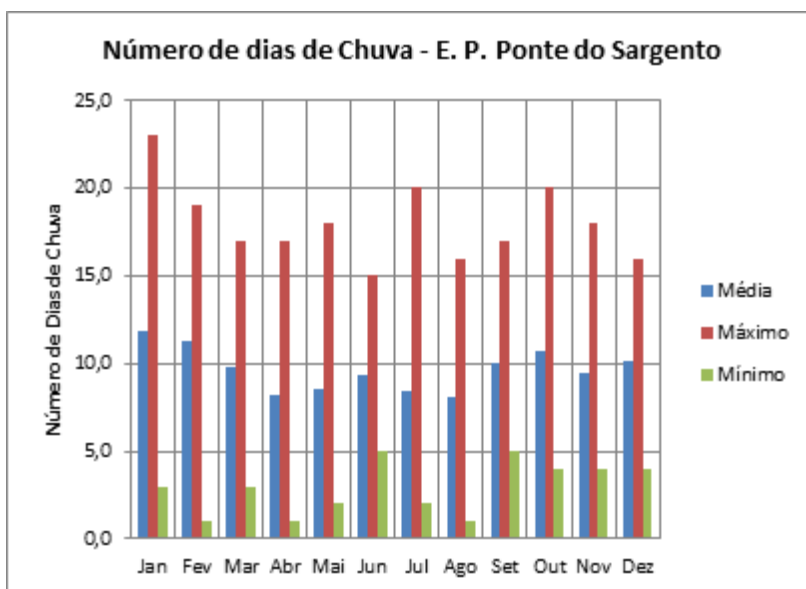


Figura 71 Estação Pluviométrica Ponte do Sargento – Número de Dias de Chuva

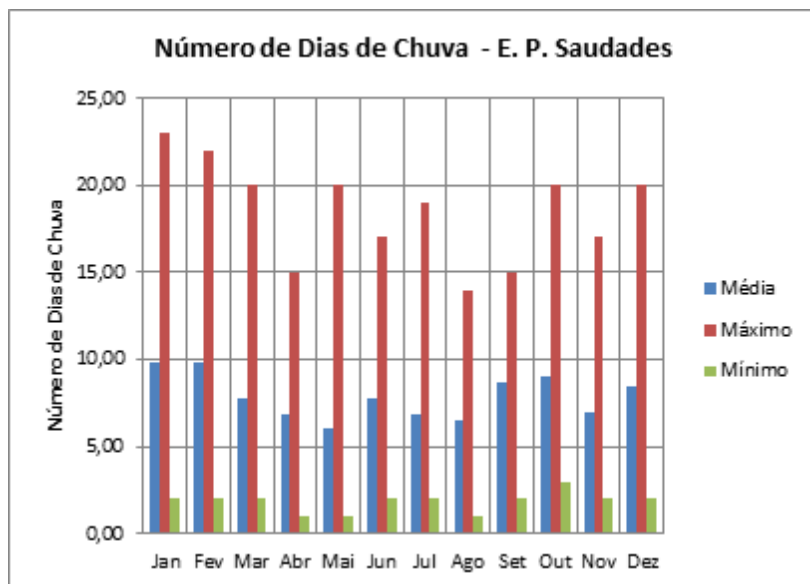


Figura 72 Estação Pluviométrica Saudades – Número de Dias de Chuva

9.3 DADOS CARACTERIZAÇÃO FLUVIOMÉTRICOS

9.3.1 Análise de Consistência

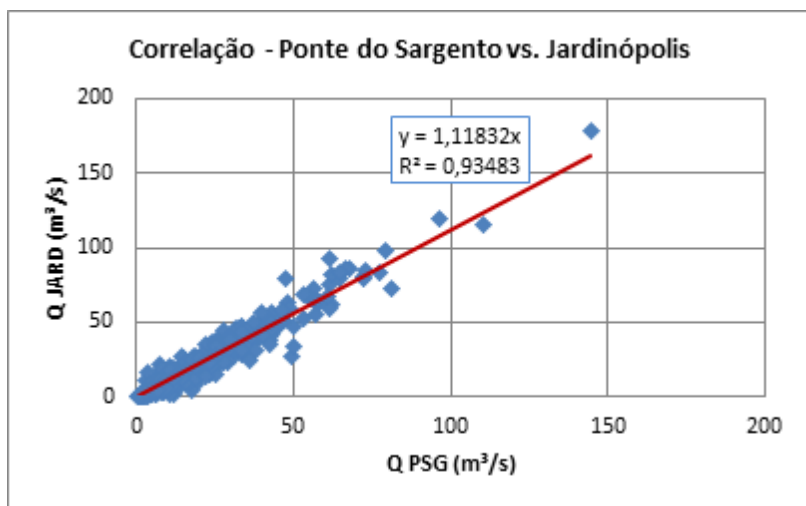


Figura 73 Correlação - Ponte do Sargento vs. Jardinópolis

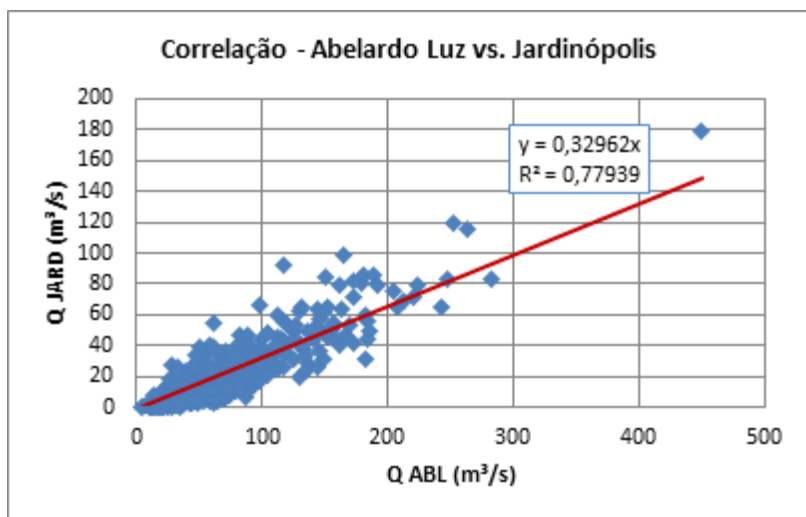


Figura 74 Correlação - Abelardo Luz vs. Jardinópolis

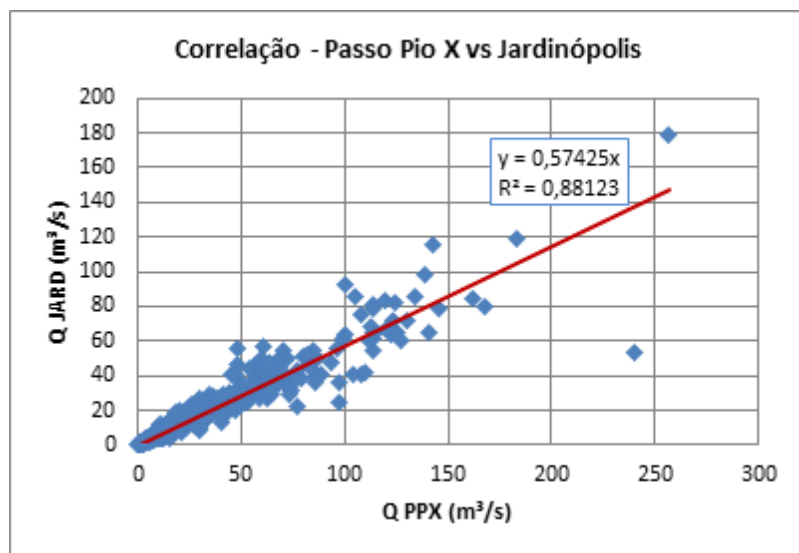


Figura 75 Correlação - Abelardo Luz vs. Jardinópolis

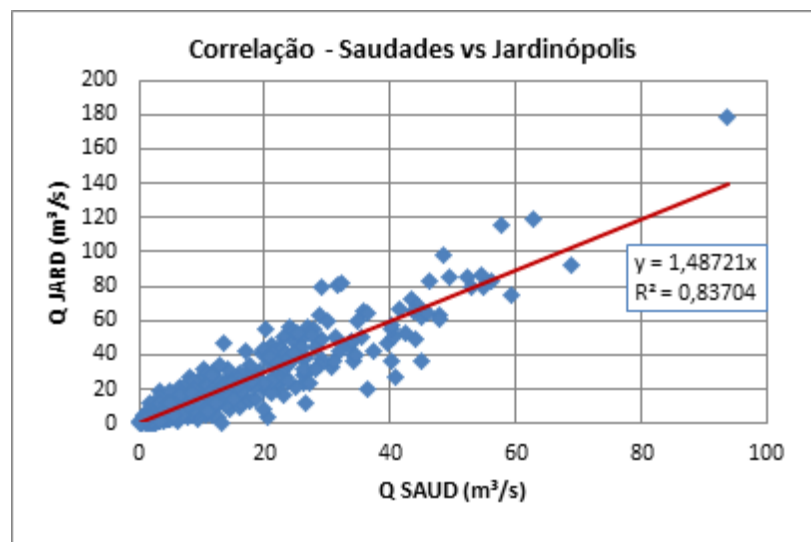


Figura 76 Correlação - Saudades vs. Jardinópolis

9.3.2 Vazões Médias Mensais

Quadro 26 Vazões Médias Mensais - E. F. Passo Pio X

Vazões Médias Mensais - E. F. Passo Pio X															
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Máximo	Mínimo
1960						18,55	2,97	36,95	46,21	53,34	28,37	7,80	27,74	53,34	2,97
1961	4,54	4,57	64,76	15,85	13,00	7,53	2,74	5,30	83,37	76,42	22,48	12,10	26,05	83,37	2,74
1962	3,88	24,31	5,88	3,48	25,91	7,29	10,28	6,15	33,32	38,23	10,50	3,19	14,37	38,23	3,19
1963	1,97	15,95	28,54	8,84	33,06	5,44	2,52	4,98	11,49	92,10	94,18	20,82	26,66	94,18	1,97
1964	2,26	7,18	3,24	14,60	13,05	3,52	9,98	26,29	15,58	24,87	3,41	11,38	11,28	26,29	2,26
1965	12,13	9,52	6,48		38,56	13,38	37,06	46,44	115,26	74,91	20,78	68,80	40,30	115,26	6,48
1966	21,92	79,52	18,11	12,46	1,22	22,31	14,88	15,88	49,88	86,54	12,53	16,08	29,28	86,54	1,22
1967	11,46	25,77	38,34	6,55	2,09	5,83	6,56	39,76	28,48	14,28	28,13	5,68	17,75	39,76	2,09
1968	1,68	2,36	4,67	18,16	5,30	2,11	6,96	1,19	4,48	14,89	10,18	16,98	7,41	18,16	1,19
1969	62,17	8,88	16,24	28,97	33,77	55,27	10,14	4,33	20,54	26,65	45,41	3,56	26,33	62,17	3,56
1970	5,89	4,50	9,25	3,23	9,90	35,83	42,91	7,65	30,10	56,41	3,84	49,29	21,57	56,41	3,23
1971	51,91	24,72	36,42	54,00	60,87	58,61	44,08	40,57	7,98	20,27	3,13	1,07	33,64	60,87	1,07
1972	6,03	17,66	25,82	29,36	4,29	73,04	15,60	93,96	79,73	19,23	31,25	12,01	34,00	93,96	4,29
1973	48,72	24,84	15,24	6,51	54,34	35,74	30,74	70,31	76,59	29,84	17,09	7,40	34,78	76,59	6,51
1974	34,15	5,67	6,33	19,48	27,05	50,66	6,13	12,72	31,19	12,32	37,26	14,87	21,49	50,66	5,67

Vazões Médias Mensais - E. F. Passo Pio X															
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Máximo	Mínimo
1975	44,15	22,77	10,61	12,94	5,90	21,73	8,63	24,06	11,88	75,82	22,67	58,04	26,60	75,82	5,90
1976	56,67	11,81	3,69	8,05	34,96	26,94	17,55	52,76	14,46	35,91	36,60	9,27	25,72	56,67	3,69
1977	7,27	22,51	13,03	5,04	0,94	21,74	6,14	17,25	15,18	24,17	26,10	14,89	14,52	26,10	0,94
1978	8,76	1,72	0,75	0,05	0,11	0,86	25,60	10,01	21,12	2,99	14,21	3,70	7,49	25,60	0,05
1979	5,43	2,17	3,73	18,61	113,51	9,31	18,70	57,76	17,69	133,85	31,72	30,20	36,89	133,85	2,17
1980	11,55	4,44	15,38	3,18	17,64	5,92	15,72	25,97	11,90	26,26	12,82	23,99	14,56	26,26	3,18
1981	6,35	8,73	7,48	23,39	4,87	11,07	2,35	1,71	7,30	25,35	28,76	56,59	15,33	56,59	1,71
1982	5,69	7,91	2,45	0,75	8,16	59,70	68,34	13,49	7,29	58,50	119,72	21,04	31,09	119,72	0,75
1983	8,91	32,16	66,00	68,45	142,61	69,41	256,51	32,03	45,57	24,29	17,38	4,19	63,96	256,51	4,19
1984	5,29	5,10	6,55	9,66	16,24	54,26	15,18	60,96	29,29	14,28	38,52	4,75	21,67	60,96	4,75
1985	2,52	31,45	4,06	14,88	13,33	7,56	10,80	12,63	18,53	10,80	26,17	1,43	12,85	31,45	1,43
1986	10,40	25,81	17,82	58,05	48,17	14,34	6,64	28,92	52,62	19,85	7,55	4,30	24,54	58,05	4,30
1987	12,98	16,54	1,51	36,09	113,96	35,57	24,68	14,22	2,76	58,45	31,89	21,78	30,87	113,96	1,51
1988	7,38	3,90	2,65	20,71	104,68	35,04	5,55	1,77	0,98	17,78	15,53	2,80	18,23	104,68	0,98
1989	39,28	44,06	9,61	18,76	30,97	17,93	22,02	37,39	107,64	42,15	9,00	5,88	32,06	107,64	5,88
1990	61,05	5,83	3,19	99,99	45,96	135,52	20,34	55,72	72,39	62,81	17,05	30,70	50,88	135,52	3,19
1991	18,68	12,41	1,40	29,37	5,83	70,48	11,09	9,29	6,34	49,47	9,98	15,36	19,97	70,48	1,40

Vazões Médias Mensais - E. F. Passo Pio X															
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Máximo	Mínimo
1992	6,16	62,27	83,03	30,76	123,59	48,07	59,61			33,04	59,17	23,64	52,93	123,59	6,16
1993		33,96	17,41	9,34	41,24	59,04	25,52			56,15	19,56		32,78	59,04	9,34
1994	2,65	97,27	15,86	10,39	66,79	108,07	85,69	14,94	25,91	31,88	68,18	11,77	44,95	108,07	2,65
1995	93,28	13,94	24,53	44,69	6,54	19,99	17,62	11,33	66,14	79,28	8,09	3,09	32,38	93,28	3,09
1996	19,94	89,01			2,77	74,25	47,29	22,89	54,22	167,58	30,89	61,20	57,00	167,58	2,77
1997	22,54	145,72	9,04	2,93	31,11	76,58	49,72	64,60	47,83	182,83	114,95	12,10	63,33	182,83	2,93
1998	20,77	162,16	70,63	161,53	32,80	7,94	26,06	112,45	81,77	114,03	9,16	13,44	67,73	162,16	7,94
1999			4,85	30,09	3,87	29,78	58,98	3,10	5,71	46,90	3,37	3,72	19,04	58,98	3,10
2000	7,32	7,33	28,46	5,16	26,61	10,80	28,24	19,55	59,94	95,94	20,03	8,54	26,49	95,94	5,16
2001	21,67			44,60		50,80		6,62	22,95	122,20			44,81	122,20	6,62
2002		9,63		2,17	56,25	72,96	10,61	44,47	71,86	125,35	47,41	54,40	49,51	125,35	2,17
2003	9,50	41,77	39,00	8,37	5,46	10,12	13,27	3,74	9,68	35,70	63,00	139,05	31,56	139,05	3,74
2004	26,56	7,39	2,06	7,05	32,30	13,03	29,00	4,88	17,51	63,27	61,30	7,77	22,68	63,27	2,06
2005	8,87	1,76	0,96	19,73	66,23	100,26	25,20	9,84	83,55	124,35	10,07	3,68	37,88	124,35	0,96
2006	11,14	5,41	10,03	11,73				13,73	29,53	30,20	29,19	30,78	19,08	30,78	5,41
2007	11,83	20,99	33,44	84,28	140,93	4,49	38,12				99,68	11,51	49,48	140,93	4,49
2008	10,25	3,66	4,79	71,97	18,68	28,84	8,74	18,01	16,96	113,50	53,93	3,26	29,38	113,50	3,26

Vazões Médias Mensais - E. F. Passo Pio X															
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Máximo	Mínimo
2009	21,24	2,93	7,88	1,27	25,85	24,46	40,10	47,44	113,58		35,60	17,03	30,67	113,58	1,27
2010	38,80	6,54	47,96	111,44	79,76	17,52	43,47	10,77	5,74	40,81	7,82	240,18	54,23	240,18	5,74
2011	77,32	85,82		37,19	6,53	110,26	86,24	62,96	103,61	44,73	17,22	3,38	57,75	110,26	3,38
2012	1,93	0,99	1,54	18,63	9,50	47,47	35,75	11,41	2,63	58,33	14,20	96,99	24,95	96,99	0,99
2013	54,18	27,94	127,31	49,96	33,68	82,01	22,32	44,55	38,99	49,17	18,80	40,16	49,09	127,31	18,80
2014		3,19	22,89	26,95	75,65			7,20	120,24	48,74	21,77		40,83	120,24	3,19
2015		10,88	6,20	3,50	48,71	56,37	130,29	8,03	45,11	64,03	69,53		44,26	130,29	3,50
2016	16,58	75,60											46,09	75,60	16,58
Média	20,85	26,50	19,75	27,23	37,08	37,88	31,34	26,62	39,63	56,50	31,22	25,88	32,43	93,70	3,85
Máximo	93,28	162,16	127,31	161,53	142,61	135,52	256,51	112,45	120,24	182,83	119,72	240,18	67,73	256,51	18,80
Mínimo	1,68	0,99	0,75	0,05	0,11	0,86	2,35	1,19	0,98	2,99	3,13	1,07	7,41	18,16	0,05

Quadro 27 Vazões Médias Mensais - E. F. Ponte do Sargento

Vazões Médias Mensais – E. F. Ponte do Sargento															
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1965								34,21	44,47	55,32	16,87	54,58	41,09	55,32	16,87
1966	19,12	51,32	14,79	8,25	3,07	16,67	11,14	17,11	31,25	50,57	9,15	12,45	20,41	51,32	3,07
1967	11,31	13,92	24,49	5,93	2,34	2,76	6,30	24,81	16,14	12,76	15,68	6,97	11,95	24,81	2,34

Vazões Médias Mensais – E. F. Ponte do Sargento															
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1968	2,51	2,84	7,73	12,06	5,35	3,43	5,17	1,70	4,18	12,09	8,00	19,67	7,06	19,67	1,70
1969	47,69	9,91	12,65	17,53	17,58	30,82	11,01	5,93	15,09	18,69	43,82	3,40	19,51	47,69	3,40
1970	3,58	2,42	2,81	1,90	7,11	21,21	28,57	7,90	24,77	43,91	9,57	27,62	15,11	43,91	1,90
1971	28,35	10,31	15,64	35,23	37,53	38,54	26,70	27,49	6,83	13,13	3,05	1,32	20,34	38,54	1,32
1972	5,72	8,17	20,40	27,24	3,30	45,89	15,22	64,88	52,12	19,14	25,23	14,48	25,15	64,88	3,30
1973	34,41	20,79	7,89	7,72	35,74	28,26	23,91	50,20	46,69	26,86	13,87	6,16	25,21	50,20	6,16
1974	17,85	5,31	6,95	15,48	15,75	26,29	6,47	11,27	14,63	9,55	30,08	13,13	14,39	30,08	5,31
1975	23,11	20,77	10,33	7,02	5,57	15,18	7,91	25,43	31,41	53,69	14,74	30,56	20,48	53,69	5,57
1976	23,39	9,55	2,56	7,18	23,27	18,40	11,87	24,04	10,37	29,00	19,92	9,11	15,72	29,00	2,56
1977	8,65	15,74	6,58	3,85	1,19	15,58	5,51	12,65	11,01	17,50	24,11	18,40	11,73	24,11	1,19
1978	5,15	1,37	1,22	2,39	3,55	2,28	17,47	9,52	11,84	4,75	10,55	5,68	6,31	17,47	1,22
1979	4,24	6,09	11,76	12,12	72,27	11,00	13,48	30,51	17,57	67,99	23,24	25,37	24,64	72,27	4,24
1980	11,54	5,41	19,31	4,35	12,16	6,78	6,38	15,57	9,24	17,59	9,95	7,53	10,48	19,31	4,35
1981	4,98	9,13	8,45	24,38	4,84	9,48	2,30	1,66	5,36	19,05	23,49	33,29	12,20	33,29	1,66
1982	6,00	7,57	4,40	1,13	4,76	29,70	43,26	11,56	8,51	33,79	77,59	18,92	20,60	77,59	1,13
1983	7,75	25,22	44,83	35,69	110,54	45,54	144,61	22,67	42,38	19,97	11,34	6,35	43,08	144,61	6,35
1984	9,29	8,54	6,46	5,38	10,14	27,53	11,30	42,63	20,15	10,40	31,10	5,20	15,68	42,63	5,20
1985	2,89	21,62	5,94	15,27	11,88	6,66		10,98	11,35	8,30	17,24		11,21	21,62	2,89
1986	3,06	11,82	12,01	37,27	46,34	13,93	6,32	19,49	24,75	19,57	11,94	10,71	18,10	46,34	3,06
1987	11,35	19,25	1,72	21,96	64,61	22,82	17,79	8,45	2,40	25,46	22,06	9,11	18,92	64,61	1,72
1988	4,37	3,15	1,67	16,74	66,68	18,16	5,40	1,45	0,62	9,93	9,25	2,54	11,66	66,68	0,62
1989	21,46	23,72	6,41	8,93	14,98	10,76	12,95	20,55	61,32	24,89	7,97	7,15	18,42	61,32	6,41
1990	42,95	8,04	1,98	61,49			15,78	31,83	38,98	49,15	12,29	15,37	27,79	61,49	1,98

Vazões Médias Mensais – E. F. Ponte do Sargento															
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1991	6,93						12,38	6,55	4,26	15,29	4,93	14,54	9,27	15,29	4,26
1992	8,05	23,97	36,78	12,99	56,32	43,07	45,62	19,51	26,16	23,54	28,06	14,77	28,24	56,32	8,05
1993	10,72	18,15	8,09	10,16	21,94	31,94	21,41	6,35	17,79	37,26	15,61	18,49	18,16	37,26	6,35
1994	1,41	22,44	17,91	7,14	28,61	32,93	39,19	5,67	16,54	25,28	41,93	7,63	20,56	41,93	1,41
1995	33,55	8,97	17,01	22,64	3,78	8,24	8,07	6,50	32,05	28,60	5,27		15,88	33,55	3,78
1996	12,17	26,94	21,00	10,95	2,06	31,10	20,47	9,26	27,63	72,38	13,42	33,43	23,40	72,38	2,06
1997	8,44	47,84	8,79	2,21	6,85	36,43	29,47	27,79	19,17	96,71	55,36	9,26	29,03	96,71	2,21
1998	8,17	73,07	33,84	82,52	21,97	7,10	13,26	53,32	43,03	62,47	9,28	9,85	34,82	82,52	7,10
1999	18,52	18,62	3,35	11,67	3,18	21,72	25,39	2,99	4,19	19,24	3,16		12,00	25,39	2,99
2000	6,23	5,78	3,60	5,02	15,86	8,90	18,49	13,51	36,94	39,97	11,76	4,67	14,23	39,97	3,60
2001	9,09	37,66	25,25	23,93	23,98	21,84	16,26	5,51	10,97	48,43	13,12	3,78	19,99	48,43	3,78
2002		4,09			30,34	36,45	7,56	18,02	36,30	56,66	37,97	32,57	28,89	56,66	4,09
2003	8,79	24,97	17,66	5,49	4,18	6,55	5,83	2,46	4,89	19,08	32,39	79,28	17,63	79,28	2,46
2004	16,13	6,02	2,83	6,11	21,05	9,29	19,58	3,83	8,44	33,38	36,52	6,56	14,14	36,52	2,83
2005	6,96	0,79		12,09	27,51	58,49	14,93	6,53	35,01	62,20	8,55	2,62	21,43	62,20	0,79
2006	8,70	2,58	8,08	7,98	1,68	1,85	1,92	6,59	9,84	17,29	18,61	13,54	8,22	18,61	1,68
2007															
2008	4,45	2,06			13,61	16,70	5,02	8,27	10,32	57,99	29,50	2,58	15,05	57,99	2,06
2009	7,43	2,62	2,87	0,98	11,56	15,32	20,95	29,76	56,86	45,22	16,04	15,70	18,78	56,86	0,98
2010	20,26	4,38	14,68	48,96	46,75	11,77	22,96	7,98	4,01	19,22	6,43	53,58	21,75	53,58	4,01
2011	15,61	25,19		17,82	4,62	33,45	45,77	32,44	40,56	21,29	11,60	3,09	22,86	45,77	3,09
2012	2,06				5,64	19,03	15,63	7,43	2,19	25,42	11,47	36,01	13,88	36,01	2,06
2013	42,41	10,52	61,41	28,01	15,17	46,13	14,06	20,69	20,37	21,52	9,44	25,10	26,24	61,41	9,44

Vazões Médias Mensais – E. F. Ponte do Sargento															
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
2014	10,40	1,65	14,30	22,13	29,71	64,58	23,75	5,73	60,64	23,94	12,77	5,45	22,92	64,58	1,65
2015	50,06	9,54	4,22	3,21	22,73	50,06	81,35	6,77	23,19	33,62	33,58	46,39	30,39	81,35	3,21
2016	11,70	37,82											24,76	37,82	11,70
Méd	14,06	15,37	13,04	16,41	21,27	22,99	20,55	16,96	22,30	31,58	19,38	17,11	19,35	50,21	3,75
Máx	50,06	73,07	61,41	82,52	110,54	64,58	144,61	64,88	61,32	96,71	77,59	79,28	43,08	144,61	16,87
Mín	1,41	0,79	1,22	0,98	1,19	1,85	1,92	1,45	0,62	4,75	3,05	1,32	6,31	15,29	0,62

Quadro 28 Vazões Médias Mensais - E. F. Abelardo Luz

Vazões Médias Mensais em Abelardo Luz															
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1953					22,77	31,12	39,10	32,05	90,00	111,23	76,37	44,44	55,89	111,23	22,77
1954	46,03	33,28	52,26	44,38	82,98	176,91	140,25	73,08	174,53	201,91	36,95	33,82	91,37	201,91	33,28
1955				69,15	96,73	142,15	127,25	62,35	37,41	22,67	12,81	11,29	64,64	142,15	11,29
1956	29,85	24,59	10,22	57,12	67,42	34,17	44,29	36,21	116,66		9,75		43,03	116,66	9,75
1957	12,82	36,64	24,25	14,00	14,42	43,76	129,52	264,11	160,12	37,91	21,80	18,95	64,86	264,11	12,82
1958	13,20	9,48	46,46	20,91	8,89	26,21	19,64	55,02	114,21	70,21	63,93	91,04	44,93	114,21	8,89
1959	49,65	33,09	18,13	28,95	37,09	34,10	24,33	39,70	47,54	31,00	22,09	16,12	31,82	49,65	16,12
1960	10,76	14,21	8,97	9,87	14,82	32,15	15,80	80,49	68,99	99,90	73,09	25,97	37,92	99,90	8,97
1961	19,76	24,26	149,35	48,08	58,31	35,14	16,44	12,14	132,16	140,75	77,33	34,50	62,35	149,35	12,14
1962	22,45	52,36	28,17	16,25	57,00	39,26	39,47	25,63	73,73	79,94	44,07	20,21	41,55	79,94	16,25
1963	28,14	47,94	59,63	32,12	31,02	17,33	12,50	14,08	27,89	117,72	128,13	48,43	47,08	128,13	12,50
1964	19,75	30,77	25,79	41,34	64,95	26,02	38,88	65,73	50,94	30,32	26,04	17,54	36,51	65,73	17,54
1965	14,59	17,15	10,66	15,11	63,46	43,42	101,57	85,34	107,71		84,53	124,44	60,72	124,44	10,66

Vazões Médias Mensais em Abelardo Luz															
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1966															
1967								75,53	76,35	46,15	52,72	48,72	59,89	76,35	46,15
1968	18,06	10,09	9,60	17,16	19,24	18,93	29,67	16,03	16,84	29,80	48,02	35,53	22,41	48,02	9,60
1969	81,68	49,19	42,21	72,69	68,03	118,70	68,86	41,20	60,16	73,36	72,46	28,81	64,78	118,70	28,81
1970	37,82	32,31	30,66	23,08	42,12	86,85	102,30	40,15	50,73	71,95	26,70	139,89	57,05	139,89	23,08
1971	130,00	58,35	56,50	108,46	101,97	147,28	119,07	54,14	40,26	54,19	16,99	15,73	75,25	147,28	15,73
1972	32,07	46,08	47,98	46,87	20,93	93,18	46,43	182,07	178,86	85,23	39,29	42,16	71,76	182,07	20,93
1973	65,57	107,80	69,20	32,85	101,87	113,98	84,10	144,49	135,81	96,62	72,64	33,34	88,19	144,49	32,85
1974	51,25	51,63	43,24	37,37	43,75	73,57	41,82	29,03	66,33	29,29	52,64	34,85	46,23	73,57	29,03
1975	59,34	58,44	32,06	19,95	16,95	37,66	40,21	57,42	107,88	137,32	71,46	102,50	61,77	137,32	16,95
1976	70,27	42,78	26,86	26,27	53,15	78,95	44,78	66,22	51,94	54,56	75,88	27,63	51,61	78,95	26,27
1977	23,84	27,05	60,60	32,99	14,50	39,52	34,43	67,26	47,08	72,10	72,20	30,85	43,54	72,20	14,50
1978	14,42	9,11	10,82	4,79	4,69	10,20	61,27	28,25	45,23	23,37	54,99	36,28	25,28	61,27	4,69
1979	16,94	7,87	14,77	42,82	179,43	52,66	55,25	61,19	49,83	180,76	103,60	53,05	68,18	180,76	7,87
1980	41,02	28,48	60,44	25,90	41,12	23,82	64,87	84,46	78,88	42,89	54,79	72,94	51,63	84,46	23,82
1981	50,27	53,28	34,71	28,55	26,62	38,71	20,46	18,30	23,09	41,59	72,30	101,78	42,47	101,78	18,30
1982	30,53	38,58	26,82	12,66	16,72	93,53	172,70	65,15	40,88	130,70	283,20	78,07	82,46	283,20	12,66
1983	70,64	77,93	166,14	100,06	262,99	148,08	450,11	104,51	89,19	78,35	75,86	29,87	137,81	450,11	29,87
1984	30,99	38,23	27,28	38,45	46,38	107,18	40,28	133,89	75,80	52,04	55,03	26,51	56,01	133,89	26,51
1985	18,09	51,58	25,07	40,77	33,02	20,29	31,11	21,05	45,22	34,12	46,42	17,88	32,05	51,58	17,88
1986	21,61	51,08	26,79	56,98	61,73	58,18	23,78	31,11	53,71	63,67	35,21	25,90	42,48	63,67	21,61
1987	38,93	46,71	17,28	28,08	223,23	87,41	51,10	51,41	36,01	80,05	39,04	20,09	59,94	223,23	17,28
1988	16,86	17,02	11,30	28,52	188,11	106,31	42,13	19,41	17,43	51,02	30,82	26,76	46,31	188,11	11,30

Vazões Médias Mensais em Abelardo Luz															
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1989	58,99	100,35	58,33	51,05	71,88	37,82	66,63	66,54	204,79	98,57	52,63	32,46	75,00	204,79	32,46
1990	117,93	58,16	44,51	117,20	105,38	274,06	94,28	112,70	125,92	113,96	88,34	91,06	111,96	274,06	44,51
1991	50,93	50,12	35,29	39,34	36,27	119,52	74,98	86,65	48,58	98,69	69,02	62,16	64,30	119,52	35,29
1992	61,34	71,40	81,90	73,14	220,84	152,69	185,36	130,12	107,06	93,31	88,90	55,21	110,11	220,84	55,21
1993	65,92	53,52	43,65	36,73	103,42	90,87	68,72	48,00	73,16	141,73	44,59	46,73	68,09	141,73	36,73
1994	22,06	63,33	36,96	39,00	82,68	113,67	130,45	50,84	51,00	83,39	135,89	91,01	75,02	135,89	22,06
1995	144,99	55,96	44,70	55,05	35,11	89,16	62,15	32,10	58,74	88,29	31,31	20,68	59,85	144,99	20,68
1996	35,94	81,13	78,27	56,33	20,51	68,97	110,15	74,49	116,08	191,32	68,11	70,92	81,02	191,32	20,51
1997	45,44	161,12	69,38	30,51	42,93	116,81	111,13	136,18	59,50	251,66	243,12	57,81	110,46	251,66	30,51
1998	97,77	151,15	111,11	257,42	120,70	46,79	90,35	212,97	155,02	130,44	43,54	35,10	121,03	257,42	35,10
1999	39,52	46,66	25,08	53,09	22,91	64,87	98,30	22,00	28,93	143,83	32,01	21,31	49,88	143,83	21,31
2000	46,85	44,58	39,50	27,01	47,50	33,75	73,35	46,53	183,41	183,34	52,78	31,53	67,51	183,41	27,01
2001	59,67	125,30	65,82	90,48	76,38	82,49	80,05	43,26	36,44	162,67	40,08	43,02	75,47	162,67	36,44
2002	19,59	19,21	19,12	13,99	51,40	56,32	34,34	80,10	89,09	152,70	124,63	97,52	63,17	152,70	13,99
2003	52,29	49,70	61,94	32,40	19,32	40,22	30,85	17,11	14,24	32,49	88,01	164,67	50,27	164,67	14,24
2004	59,79	26,72	14,79	19,65	51,26	50,51	89,52	30,11	37,81	104,74	111,61	41,22	53,14	111,61	14,79
2005	57,29	24,54	13,69	44,06	92,28	144,27	50,76	36,74	157,85	173,52	63,00	22,18	73,35	173,52	13,69
2006	22,25	23,56							46,49	40,97	55,21	53,12	40,27	55,21	22,25
2007	49,53	35,29	56,58	126,85	208,63	48,18	72,80	32,35	45,38	101,01	149,48	57,33	81,95	208,63	32,35
2008		19,65	14,99	51,11	57,61	60,56	40,00	52,84	50,18	132,35	148,79	36,70	60,43	148,79	14,99
2009	36,81	33,14	27,59	14,03	27,15	47,71	90,06	132,07	156,29	149,27	72,11	74,91	71,76	156,29	14,03
2010	72,92	54,20	69,66	182,89	141,48	75,11	63,03	57,97	21,56	28,22	26,44	169,95	80,29	182,89	21,56
2011	85,52	117,88	79,71	75,36	28,71	88,78	155,95	145,28	161,58	47,93	44,54	27,46	88,22	161,58	27,46

Vazões Médias Mensais - Est. Fluviométrica Saudades															
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1964															
1965															
1966															
1967															
1968															
1969															
1970	4,52	4,97	5,37	3,28	9,34	17,18	14,17	3,81	10,55	24,35	4,55	11,74	9,49	24,35	3,28
1971	21,35	7,22	11,64	27,64	29,32	27,64	22,99	14,87	5,50	8,77	3,15	1,41	15,12	29,32	1,41
1972	3,49	4,90	9,95	11,81	3,97	38,12	11,28	51,69	43,88	16,52	14,72	12,63	18,58	51,69	3,49
1973	11,82	4,36	3,97	3,86	22,78	17,04	21,04	46,95	31,93	13,85	5,64	3,31	15,55	46,95	3,31
1974	15,45	6,57	5,61	11,74	14,31	19,65	5,28	8,32	10,03	10,08	11,37	6,44	10,41	19,65	5,28
1975	14,97	17,65	6,89	7,69	5,91	10,93	5,62	29,40	26,45	38,79	11,38	23,25	16,58	38,79	5,62
1976	27,04	6,95	3,16	4,86	11,17	10,49	13,85	14,28	7,14	22,05	22,17	7,40	12,55	27,04	3,16
1977	9,51	15,67	5,62	3,20	1,97	11,30	5,54	14,31	9,97	9,39	16,34	6,90	9,14	16,34	1,97
1978	4,74	1,75	1,35	0,45	0,59	1,09	9,65	5,01	8,14	3,91	11,66	4,69	4,42	11,66	0,45
1979	2,11	1,43	2,88	7,78	31,63	7,86	8,29	34,30	9,25	54,63	14,88	19,89	16,24	54,63	1,43
1980	5,00	4,01	7,07	2,28	10,96	4,40	6,40	11,00	5,32	12,04	7,32	6,43	6,85	12,04	2,28
1981	5,17	7,77	2,99	15,63	3,96	6,97	2,38	2,36	5,31	11,45	11,42	20,88	8,02	20,88	2,36
1982	4,18	6,14	2,47	1,10	1,89	12,96	21,38	7,24	5,04	17,10	46,17	13,03	11,56	46,17	1,10
1983	4,93	20,43	33,54	28,12	57,67	29,10	93,69	18,79	19,41	11,65	11,73	5,71	27,90	93,69	4,93
1984	2,90	2,69	4,14	7,09	10,45	17,77	8,52	26,16	11,91	11,87		3,68	9,74	26,16	2,69
1985	1,96	13,89	6,20	8,82	14,38	5,45	7,82	9,81	14,62	5,80	10,67		9,04	14,62	1,96
1986	1,83	3,45	6,18	34,27	20,32	9,35	5,46	14,10	16,95	8,60	7,71	3,49	10,98	34,27	1,83

Vazões Médias Mensais - Est. Fluviométrica Saudades															
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
1987	8,61	9,98	2,47	22,03	29,03	16,87	15,71	6,79	2,78	40,88	7,93	4,68	13,98	40,88	2,47
1988	3,99	4,03	3,08	9,96	52,41	10,32	4,61	2,61	1,68	9,17	5,66	2,31	9,15	52,41	1,68
1989	8,22	11,96	5,54	8,81	8,74	9,22	11,44	15,37	59,40	26,14	11,64	12,61	15,76	59,40	5,54
1990	26,94	5,36	3,62	68,80	19,78	70,00	14,87	21,22	22,88	23,44			27,69	70,00	3,62
1991	14,78	20,54	13,18	2,61	2,33	27,89	2,84	1,78	2,18	14,14	1,40	19,82	10,29	27,89	1,40
1992	9,48	45,05	39,64	26,64	43,23	33,64	44,13	36,37	19,18	16,56	30,80	12,38	29,76	45,05	9,48
1993	10,12	22,09	13,75	10,67	9,91	21,45	14,08	5,17	17,77	20,97	10,67	13,03	14,14	22,09	5,17
1994	2,50	22,02	8,25	9,38	22,99	22,38	34,43	6,80	22,91	25,02	26,30	3,98	17,25	34,43	2,50
1995	25,25	10,93	12,25	13,73	3,47	6,31	6,51	6,20	22,65	26,67	6,18	1,96	11,84	26,67	1,96
1996	7,18	23,46	13,45	9,53	2,21	14,00	16,72	16,15	22,26	52,90	20,76	21,68	18,36	52,90	2,21
1997	9,01	54,75	7,65	2,46	4,92	22,59	20,87	26,15	21,59	62,69	35,76	5,93	22,86	62,69	2,46
1998	11,91	49,37	40,29	43,02	19,61	6,08	14,21	44,43	40,48	44,88	6,54	5,64	27,21	49,37	5,64
1999	7,86	10,57	3,30	13,50	2,91	9,81	24,62	3,46	4,14	18,56		4,35	9,37	24,62	2,91
2000	3,07	4,84	3,32	5,43	10,82	5,47	12,66	7,21	19,88	23,90	5,78	2,84	8,77	23,90	2,84
2001	7,69	31,27	13,40	10,04	18,40	21,95	14,38	4,96	11,46	28,87	4,93	2,29	14,14	31,27	2,29
2002	0,84	0,78	1,02	0,19	10,44	26,50	4,87	13,05	30,86	43,54	26,62	23,44	15,18	43,54	0,19
2003	4,45	10,95	10,53	9,13	2,94	8,37	6,93	2,50	2,87	11,48	13,44	48,37	11,00	48,37	2,50
2004	16,36	6,17	1,18	2,91	9,67	3,77	20,14	2,92	8,29	24,61	21,24	2,52	9,98	24,61	1,18
2005	2,67	0,33	0,28	8,95	23,43	47,81	10,41	4,52	25,95	32,40	7,11	1,76	13,80	47,81	0,28
2006	2,65	3,13	8,22	4,63					7,47	10,19	21,11	15,02	9,05	21,11	2,65
2007	8,33	7,92	7,88	24,60	46,04	5,05	16,74				47,68	8,57	19,20	47,68	5,05
2008	3,82	1,77	3,57	20,86	8,41	11,60	4,63	4,97	6,63	36,48	26,15	3,07	11,00	36,48	1,77
2009	3,30		1,80			9,59	16,90	23,34	40,12		13,83	7,92	14,60	40,12	1,80

Vazões Médias Mensais - Est. Fluviométrica Saudades															
A/M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	Máx	Mín
2010	8,63	4,46	12,12	29,98	27,34	6,96	16,20	5,33	4,84	12,35	4,73	42,52	14,62	42,52	4,46
2011	11,05	23,66		21,00	5,95	37,31	35,49	23,32	24,70	23,67	7,27	1,39	19,53	37,31	1,39
2012				4,47	3,64	8,61	11,26	5,88	1,99	12,96	10,92	27,02	9,64	27,02	1,99
2013	21,93	7,88	34,76	17,56	6,60	25,15	12,33	15,95	15,60	19,85	5,92	11,48	16,25	34,76	5,92
2014	8,53	3,37	17,70	18,65	29,19	56,01	18,23	5,66	41,47	17,86	9,37	6,58	19,38	56,01	3,37
2015	33,95	6,87	1,81	1,08	14,79	28,66		5,68	15,84	28,07	32,03	40,16	18,99	40,16	1,08
2016	4,84	15,19											10,01	15,19	4,84
Méd	8,85	11,44	8,62	13,26	15,25	17,78	15,24	14,31	17,29	21,36	13,86	10,80	13,88	35,86	3,09
Máx	33,95	54,75	40,29	68,80	57,67	70,00	93,69	51,69	59,40	62,69	47,68	48,37	29,76	93,69	9,48
Mín	0,84	0,33	0,28	0,19	0,59	1,09	2,38	1,78	1,68	2,69	1,40	1,39	4,42	7,34	0,19

Sem dados

9.3.3 Vazões Mínimas

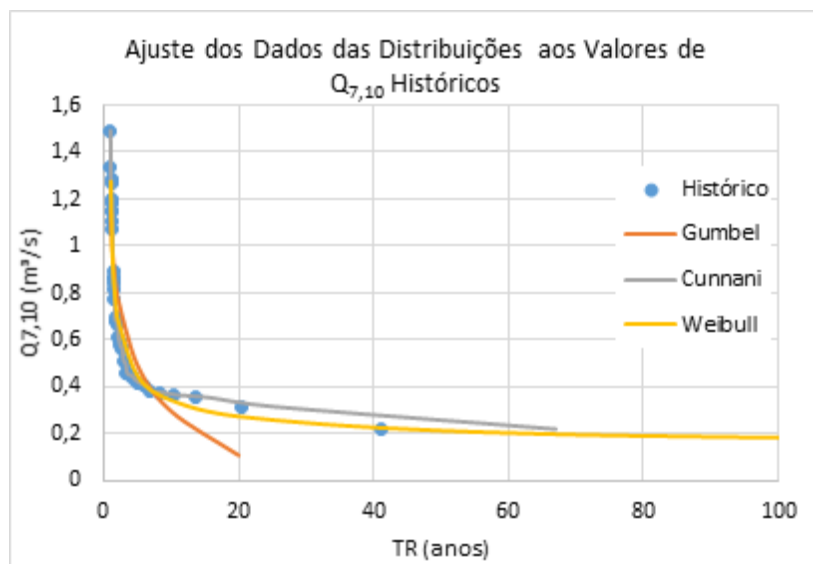


Figura 77 Ajuste dos Dados das Distribuições aos Valores de $Q_{7,10}$ Histórico